

**INSTITUTO DE FÍSICA – UFRGS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA**

**SIMULAÇÃO E MODELAGEM COMPUTACIONAIS COMO  
RECURSOS AUXILIARES NO ENSINO DE FÍSICA GERAL<sup>1</sup>**

Tese de doutorado em Física de Ives Solano Araujo submetida ao Programa de Pós-Graduação em Física do IF-UFRGS como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências.

**Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Moreira**  
**Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eliane Angela Veit**

**PORTO ALEGRE**  
**2005**

---

<sup>1</sup> Trabalho parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

A minha família e amigos pelo apoio constante.

## AGRADECIMENTOS

### Agradeço

- Aos professores Eliane Angela Veit e Marco Antonio Moreira, pela dedicada orientação, ajuda e, antes de tudo, pelo o exemplo a seguir.
- Ao professor Luiz Fernando Ziebell, pelas valiosas sugestões sobre o texto de apoio.
- Ao Grupo de Pesquisa em Ensino de Física e em especial a Pedro Dorneles, Rogério Chiarelli e Neusa Massoni pelas frutíferas discussões e auxílios em todos os momentos.
- Aos meus amigos e colegas Karen P. Bastos, Luiz Fernando Zagonel, Marcelo R. Thielo, Ismael Heisler, Rossano Lang, Rodrigo Palmieri, Antônio Endler, Gian M. de Castro, Wanderson Wanzeler, Geovane P. Gonçalves, Vinicius Montano, Maikel Traversi, Jesus R. de Ávila, Gilnei Machado pelo companheirismo e amizade ao longo de toda a caminhada.
- Aos professores, funcionários e colegas do Instituto de Física da UFRGS em geral, e em particular a professora Rejane Teixeira e aos funcionários Waldomiro Olivo, Vera Oliveira e Adriana Toigo, pelos ensinamentos e amizade.
- A toda a minha família e a Patrícia F. Carrasco, que souberam conviver com as necessárias ausências.
- A minha segunda família em Porto Alegre Jair Werlang, Jocelito Zanatta, José Roberto Soares, Sérgio Cantarelli e Stanislau Lopes pela acolhida e apoio recebido.
- A todas as pessoas que colaboraram como sujeitos da pesquisa.

Meu agradecimento especial aos amigos Jefferson R. dos Santos e Iramaia J. Cabral por todo o apoio e incentivo, imprescindíveis para a conclusão desta tese.

*“O professor que acredita que pode ser substituído por uma máquina, deve mesmo ser substituído por ela”*

**Marco A. Moreira**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>7</b>
2.1 DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DA LEI DE GAUSS DA ELETRICIDADE E DA LEI DE AMPÈRE.....	7
2.1.1 <i>Lei de Gauss para a Eletricidade.....</i>	7
2.1.2 <i>Lei de Ampère.....</i>	14
2.2 O USO DE TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA .....	18
2.2.1 <i>Discussões sobre as potencialidades de uso do computador no ensino de Física.....</i>	20
2.2.2 <i>Modalidades pedagógicas do uso do computador e os tópicos de Física abordados na literatura .....</i>	24
2.2.3 <i>Simulação e modelagem computacionais.....</i>	31
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>59</b>
3.1 A TEORIA DE APRENDIZAGEM DE AUSUBEL.....	59
3.1.1 <i>Aprendizagem significativa .....</i>	59
3.1.2 <i>Aprendizagem Mecânica .....</i>	60
3.1.3 <i>Subsunçores .....</i>	61
3.1.4 <i>Organizadores prévios .....</i>	62
3.1.5 <i>Condições para a Aprendizagem Significativa .....</i>	62
3.1.6 <i>Assimilação.....</i>	63
3.1.7 <i>Diferenciação progressiva, reconciliação integradora e consolidação.....</i>	65
3.2 A TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY .....	67
3.2.1 <i>Interação social.....</i>	67
3.2.2 <i>Zonas de desenvolvimento real e proximal .....</i>	69
3.2.3 <i>Externalização do pensamento.....</i>	70
3.3 MODELAGEM ESQUEMÁTICA .....	72
3.3.1 <i>O Processo de Modelagem Esquemática .....</i>	76
3.3.2 <i>Modelagem Esquemática para a Resolução de Problemas de Paradigma</i>	77
3.3.3 <i>Exemplo de Aplicação da Modelagem Esquemática .....</i>	79
<b>4 ESTUDO I.....</b>	<b>85</b>
<b>5 ESTUDO II .....</b>	<b>97</b>
5.1 USO DE SIMULAÇÕES E MODELAGEM COMPUTACIONAIS NA APRENDIZAGEM DA LEI DE GAUSS E DA LEI DE AMPÈRE EM NÍVEL DE FÍSICA GERAL .....	98

5.2 O DIAGRAMA AVM.....	107
<b>6 ESTUDO III.....</b>	<b>117</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>175</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>182</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>197</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>217</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>224</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>228</b>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o processo de ensino-aprendizagem de Física através de abordagens didáticas envolvendo o uso de atividades de simulação e modelagem computacionais em um ambiente de atividade colaborativa presencial. Num primeiro estudo, realizado a partir de uma metodologia quantitativa, avaliou-se o desempenho dos alunos em testes que tinham como tópico a interpretação de gráficos da Cinemática, antes e depois de trabalharem com atividades de simulação e modelagem computacionais em atividades extra-aula. Os resultados deste primeiro estudo mostram que houve melhorias estatisticamente significativas no desempenho dos alunos do grupo experimental, quando comparado aos estudantes do grupo de controle, submetidos apenas ao método tradicional de ensino. Na sequência, foram realizados outros dois estudos dentro de uma metodologia qualitativa, em que o foco estava no processo de ensino-aprendizagem que ocorre em ambiente de sala de aula. Foi utilizada uma abordagem que envolveu, além das atividades computacionais, um método colaborativo presencial como dinâmica de base para o estabelecimento das relações interpessoais entre o professor e a turma, e os alunos entre si. A fundamentação teórica adotada esteve baseada na teoria de Ausubel sobre aprendizagem significativa e na teoria de Vygotsky sobre interação social. O referencial de Halloun sobre modelagem esquemática também foi utilizado. Os resultados sugerem que as atividades de simulação e modelagem computacionais são potencialmente facilitadoras de aprendizagem significativa em Física. Sugerem, também, que a atividade colaborativa presencial contribui positivamente para esse tipo de aprendizagem.

## **ABSTRACT**

The purpose of this research was to analyze the educational process in physics using didactical approaches involving computational modeling and simulation activities in a collaborative learning environment. In a first study, under a quantitative approach, student's performance in the interpretation of kinematics graphs, before and after extra-class computational activities, was assessed. Research findings of this study showed a statistically significant difference in favor of the group that used the computational activities. Then, two additional studies were carried out under a qualitative approach, in which the focus was on the learning process in the classroom. In these studies, in addition to computational activities, collaborative learning tasks were also used. The theoretical framework of all three studies was Ausubel's meaningful learning theory, Vygotsky's social interaction approach, and Halloun's schematic modeling. Research findings as a whole suggest that computational modeling and simulation activities are potentially helpful in facilitating meaningful learning of physics topics. They also suggest that the collaborative learning tasks have an important contribution towards this kind of learning.

## 1 INTRODUÇÃO

A pesquisa em ensino de Física remonta aos anos cinquenta, tendo passado, em linhas gerais, pelos seguintes estágios (Moreira, 2004):

- *grandes projetos curriculares, nos anos 50/60;*
- *estudos sobre concepções alternativas, nos anos 70;*
- *estudos sobre mudança conceitual, nos anos 80;*
- *estudos sobre representações mentais, nos anos 90;*
- *estudos relacionados com o professor de ciências e estudos microetnográficos, nos últimos anos.*

Nas pesquisas mais recentes, sob o ponto de vista de aprendizagem de conteúdo, já não basta identificar as dificuldades apresentadas pelos estudantes ou identificar seus modelos mentais. É necessário apresentar, também, recursos instrucionais e metodológicos que, incorporando os resultados de pesquisa, sejam potencialmente significativos para promover uma aprendizagem significativa por parte dos alunos.

Sob o ponto de vista de experiências didáticas, nos dias de hoje, as atividades de ensino de Física estão permeadas de propostas envolvendo o uso de computadores. Praticamente, já faz parte do senso comum a idéia de que grandes avanços na área do ensino (principalmente de Física e áreas correlatas) ocorrerão através do uso intensivo das chamadas “tecnologias computacionais” e que estas proporcionarão situações de aprendizagem impensáveis antes de sua existência.

Aplicativos cada vez mais elaborados vêm sendo criados na tentativa de facilitar a construção do conhecimento por parte do estudante; entretanto, são raras as pesquisas educacionais que se ocupam em investigar de que forma o aprendiz relaciona e compreende os conceitos físicos trabalhados com o uso do computador e como extrair um proveito máximo deste tipo de ferramenta. Sem pesquisas deste tipo, corremos o risco de prestar um desserviço aos nossos alunos, pois se por um lado empregamos métodos e materiais inovadores, por outro lado ignoramos como estes são

assimilados por eles, o que pode ocasionar o reforço de pensamentos e atitudes que justamente deveriam ser superadas, e levar, outra vez, a uma aprendizagem mecânica.

A realização destas pesquisas é indispensável para se obter indicadores sobre quais as modalidades de uso do computador potencialmente mais significativas para o ensino de Física, assim como para desenvolver materiais e métodos que explorem os novos recursos propiciados pelas tecnologias, levando em conta resultados de pesquisas sobre a aprendizagem de conteúdos.

A função das tecnologias de informação e comunicação no processo ensino-aprendizagem em muitas das suas modalidades de uso se restringe à transmissão de informações e instruções. No entanto, há modalidades em que as tecnologias funcionam como ferramentas cognitivas, *com* as quais os estudantes aprendem, em vez de aprender das tecnologias (Jonassen, Carr & Yueh, 2005). Neste caso, as tecnologias se tornam “ferramentas da mente” (ibid.), ou uma espécie de “inteligência material” (Disessa, 2001), ampliando a capacidade de aprendizagem além dos limites viáveis sem recursos tecnológicos. É esta perspectiva que nos atrai e enfocamos, explorando, particularmente, simulação e modelagem computacionais como uma ferramenta cognitiva no processo ensino-aprendizagem de Física.

O presente trabalho está inserido em uma linha de pesquisa que investiga o uso de tecnologias computacionais como recurso auxiliar à aprendizagem de Física, bem como dá continuidade a uma outra linha de pesquisa desenvolvida 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.

Assim como as leis de movimento e da gravitação de Newton constituem os fundamentos da Mecânica, as leis de Maxwell formam a base do Eletromagnetismo. Apesar disto, resultados de pesquisas educacionais mostram que os alunos encaram

estas leis como algo mais a ser decorado, sendo suas equações somente mais um método para a resolução de problemas com alto grau de simetria.

De modo geral, podemos agrupar as dificuldades apontadas nos trabalhos de pesquisa em três grandes categorias: a) dificuldades (matemáticas) de operar formalmente com os conceitos envolvidos nas respectivas leis; b) não entendimento, ou entendimento superficial, de conceitos auxiliares que suportam o novo conceito (conceito principal); e c) dificuldades na interpretação do significado físico da lei do ponto de vista fenomenológico.

A busca por uma abordagem pedagógica que permita a superação destas dificuldades, bem como o estudo da interação entre professor-aluno-material didático, fundamenta o propósito deste trabalho. Tendo em vista os mais diversos recursos em potencial (laboratórios, livros-texto, material multimídia, etc.) que podem ser utilizados para a elaboração de tal abordagem, voltamos nossa atenção para o uso do computador no ensino de Física.

Os primeiros resultados obtidos dentro da primeira dessas linhas de pesquisa envolveram o uso de simulação e modelagem computacional como meio de auxiliar a aprendizagem de gráficos da Cinemática. Nesta investigação, que constitui o Estudo I desta Tese (Capítulo 4), os resultados foram plenamente satisfatórios e ensejaram a continuidade da investigação. Passamos então às Leis de Maxwell, tendo em mente sua importância para uma real compreensão do Eletromagnetismo. Considerando que diversas dificuldades conceituais não são superadas pelos alunos mesmo após passarem por um bom ensino tradicional, nos propusemos as seguintes questões norteadoras de pesquisa: *atividades de simulação e modelagem computacionais podem contribuir eficazmente no processo de ensino/aprendizagem das Leis de Maxwell proporcionando uma aprendizagem mais significativa dessas leis? Como e quanto contribuem? Quais características reunidas pelas atividades de simulação e*

*modelagem computacionais facilitam a aquisição do conhecimento científico? Funcionam como mediadoras? São auto-suficientes?*

Como veremos mais adiante, optamos em parte deste trabalho (Estudos II e III) pelo uso de elementos de uma metodologia de pesquisa educacional qualitativa. Como se sabe, na execução de um estudo qualitativo, as questões de pesquisa não são necessariamente definidas *ab initio*, o que nos dá a oportunidade de orientar nosso trabalho de acordo com as particularidades inerentes ao episódio de ensino observado e formular questões relacionadas ao processo de interação entre professor-aluno-material didático no momento em que estas se estabeleçam.

No Capítulo 2 apresentamos uma revisão da literatura sobre artigos de pesquisa enfocando o ensino das Leis de Maxwell do Eletromagnetismo, bem como uma revisão de trabalhos envolvendo o uso de computadores no ensino de Física em nível médio e universitário. No Capítulo 3 apresentamos a fundamentação teórica de nossa investigação, abordando a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a teoria da mediação de Vygotsky e uma seção sobre nosso referencial de trabalho para o uso de atividades de modelagem computacional no ensino de Física.

Nos três capítulos seguintes apresentamos os três estudos que dão sustentação a esta tese. O primeiro deles, objeto do Capítulo 4, por constituir-se em uma espécie de estudo prévio e ter sido já divulgado, será descrito mais resumidamente. O segundo e o terceiro, enfocando a Lei de Gauss para a Eletricidade<sup>2</sup> e a Lei de Ampère serão apresentados mais detalhadamente, nos capítulos 5 e 6. Cada um destes dois estudos foi conduzido em condições reais de sala de aula durante todo o transcorrer de duas disciplinas semestrais, uma para estudantes da Engenharia e outra para estudantes de Física.

---

<sup>2</sup> Daqui para frente quando falarmos somente em Lei de Gauss, sem outra especificação, estaremos nos referindo à Lei de Gauss para a Eletricidade.

Fazer pesquisas educacionais em situação de laboratório, ou seja, com tratamento experimental, pré-teste e pós-teste, amostragem aleatória, instrumentos válidos e fidedignos, tem a vantagem do controle de variáveis (assim como no laboratório de pesquisa em Física). Porém, há tanto controle que a situação pode acabar se tornando artificial, não condizente com as condições reais de sala de aula. Assim foi o primeiro estudo; os resultados foram satisfatórios, mas a situação foi de laboratório, não integrada às atividades formais da disciplina de Física Geral I.

Fazer este tipo de pesquisa em condições reais de sala de aula propicia a investigação da “aula como ela é”, mas perde-se o controle das variáveis. Fizemos esta opção, conscientemente, no segundo e terceiro estudos. Nos pareceu que depois de um estudo quantitativo, o primeiro, seria enriquecedor enfrentar o desafio de fazer um estudo mais naturalista, isto é, no ambiente natural da sala de aula. O uso das atividades colaborativas presenciais, dos textos de apoio, das aulas e, particularmente, das atividades de simulação e modelagem computacionais foram encarados, nesses estudos, como materiais educativos normais de sala de aula, não como “tratamentos” aplicados em condições especiais.

Naturalmente esta opção nos trouxe dificuldades, e muitas. Como saber se as aprendizagens dos alunos decorreram de um ou outro tipo de atividade, dos textos, das aulas, das atividades de simulação e modelagem computacional ou, o que é mais provável, da interação entre os vários recursos instrucionais utilizados? Bem, esse é um ônus que se paga por trabalhar em condições reais de sala de aula e por não querer isolar e controlar variáveis. Aliás, a pesquisa educacional há muito tempo vem se afastando do controle de variáveis em função dos resultados pouco satisfatórios com esse enfoque. A idéia é mudar o foco da simples análise dos resultados finais obtidos, para a investigação dos processos que conduziram a estes resultados.

Foram feitas observações, aplicadas provas, realizadas entrevistas, desenvolvidas atividades em pequenos grupos, com e sem computador, e foram feitos

registros de tudo isso. Desses registros tentamos inferir regularidades, buscar indicadores, construir interpretações, compreensões contextualizadas.

É esta a narrativa feita nos capítulos 5 e 6. A metodologia de ensino e de pesquisa utilizadas em cada um desses estudos será parte integrante dessa narrativa. No Capítulo 7, a título de conclusão, faremos a síntese possível e proporemos novas questões de pesquisa. A propósito, antes de prosseguir cabe reiterar que as questões norteadoras dos estudos descritos nesta tese têm a ver com a possível contribuição das atividades de simulação e modelagem computacionais – isoladas, integradas ou complementares a outros materiais educativos – para o ensino de Física, em particular no caso dos gráficos da Cinemática e das Leis de Gauss e Ampère no Eletromagnetismo.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo buscamos fornecer um panorama sobre as dificuldades envolvidas na aprendizagem da Lei de Gauss e da Lei de Ampère, bem como mapear os modos de utilização do computador no ensino de Física, discutindo em maior detalhe o uso de simulação e modelagem computacionais. A parte referente a dificuldades na interpretação de gráficos da cinemática foi revisada e publicada anteriormente (Araujo, Veit & Moreira, 2004a). Consultamos, a partir de 1990, os seguintes periódicos: *American Journal of Physics*, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Cognition and Instruction (de 1993-2005)*, *Computers&Education*, *Enseñanza de las Ciencias*, *International Journal of Science Education*, *Investigações em Ensino de Ciências*, *Journal of Research in Science Teaching*, *Science Education*, *Journal of Computer Assisted Learning (de 1997-2005)*, *Journal of Interactive Learning Research*, *Research in Science & Technological Education (de 1996-2005)*, *Research in Science Education (de 2001-2005)*, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *Revista Enseñanza de la Física*. Além disso, foram também utilizados o sistema ERIC (*Education Resources Information Center*) e as bases de dados disponíveis na Internet (WEBOFSCIENCE).

### 2.1 DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DA LEI DE GAUSS DA ELETRICIDADE E DA LEI DE AMPÈRE

#### 2.1.1 Lei de Gauss para a Eletricidade

A Lei de Gauss para a Eletricidade é uma das quatro Leis de Maxwell (Apêndice A) que fundamenta o Eletromagnetismo. Apesar de sua extrema importância no estudo desta área da Física, ela não é bem compreendida por boa parte dos alunos, mesmo após passarem pelo curso de Física Geral. Não raro, esta lei física é vista por muitos alunos como apenas mais uma equação, um caso particular da Lei de Coulomb, válida para a resolução de problemas com alto grau de simetria. Esta visão,

de fato, se deve muito à maneira como ela é apresentada aos alunos. Conforme apontado por Goldman, Lopes & Robilotta (1981), a abordagem didática da Lei de Gauss, tipicamente, começa apresentando-a como uma nova formulação da Lei de Coulomb para simplificar o cálculo do campo elétrico em situações envolvendo simetria. Logo após, é introduzido o conceito de fluxo de um campo vetorial (e.g., corrente de ar ou um campo de velocidade de um fluido), para então definir o fluxo de um campo elétrico. Após, a Lei de Gauss na forma integral é apresentada ( $\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{liq}$ ) como a relação existente entre o fluxo resultante de um campo elétrico através de uma superfície fechada (uma superfície gaussiana) com a carga líquida envolvida por esta superfície, e é deduzida a expressão do campo elétrico para uma carga pontual no centro de uma superfície gaussiana esférica, chegando ao mesmo resultado fornecido pela Lei de Coulomb. Desta forma, demonstra-se a “validade” da Lei de Gauss. O próximo passo é mostrar que a Lei não se altera mesmo se modificamos o formato da superfície gaussiana e também, que o fluxo total só é afetado pelas cargas internas à gaussiana. Por último, através do princípio de superposição, a lei é generalizada para o caso de uma distribuição de cargas qualquer. Após esta breve contextualização de como a Lei de Gauss é abordada convencionalmente em sala de aula, apresentaremos alguns trabalhos encontrados em nossa revisão que abordam o seu ensino.

Goldman, Lopes & Robilotta (op. cit.), através da analogia entre lâmpadas e cargas elétricas, discutem uma abordagem diferente da Lei de Gauss focalizando inicialmente a utilidade e validade da mesma, salientando que é válida para qualquer superfície gaussiana, independentemente do fato de ser possível, ou não, calcular o campo elétrico por meio dela. Destacam, também, que o conhecimento prévio do campo elétrico em todos os pontos de uma determinada região é fundamental para a escolha desta superfície. Deste modo, o aluno deveria perceber que é através da configuração do campo que escolhemos a superfície gaussiana mais adequada, e não o contrário. Outro ponto discutido pelos autores, diz respeito à interpretação física e matemática da Lei de Gauss, ao evidenciar que o fluxo do campo elétrico através de

distintas superfícies gaussianas é o mesmo desde que a quantidade de carga envolvida seja a mesma. Fisicamente, é mostrado que isso se deve à neutralidade do espaço, ou seja, à idéia de que o espaço vazio não “cria” nem “sorve” campo elétrico. Logo, diferentes superfícies gaussianas contendo uma mesma carga líquida e envolvendo diferentes quantidades de espaço terão necessariamente o mesmo fluxo. Matematicamente, é mostrado que esta propriedade se deve à força de interação elétrica ser proporcional ao inverso do quadrado da distância para cargas pontuais. Os autores salientam ainda outro aspecto que em geral não é suficientemente discutido: quem gera o campo elétrico apresentado na expressão matemática da Lei de Gauss? Fazer com que o aluno perceba que este campo elétrico é devido a todas as cargas do sistema, e não somente às cargas internas à superfície, merece atenção redobrada do professor.

Visando investigar possíveis obstáculos a um uso correto do princípio da superposição de campos elétricos, vital para um entendimento adequado da Lei de Gauss, Vienott & Ranson (1992) aplicaram dois testes a alunos universitários. O primeiro teste (chamado de questionário de Gauss pelos autores), aplicado a dois grupos de alunos ( $N_1 = 108$  e  $N_2 = 29$ ) que já haviam cursado no mínimo um curso envolvendo eletrostática, foi constituído de uma questão sobre a Lei de Gauss envolvendo uma esfera isolante de raio  $R$  carregada com uma densidade volumétrica de carga uniforme, imersa numa região do espaço com distribuição de cargas desconhecida. Foi questionado aos alunos se é possível calcular o campo elétrico em algum ponto no interior da esfera sem ter conhecimento da distribuição de cargas externa à esfera. O segundo teste foi composto por duas questões relacionadas com a distribuição de cargas em materiais condutores e isolantes e não será discutido aqui. Os resultados obtidos no primeiro teste indicam que os alunos tendem a levar em consideração apenas a carga envolvida pela superfície gaussiana para a determinação do campo elétrico resultante, desconsiderando a influência das demais cargas presentes no sistema. Nas palavras dos autores:

*A significância de nossas conclusões usando o “questionário de Gauss” não é que o teorema de Gauss é pobremente entendido pelos estudantes. Este é um fato bem estabelecido. Apontamos um dos componentes dessa incompreensão, isto é, os estudantes não usam espontaneamente o princípio da superposição de campos criados por todas as cargas do universo para determinar suas respostas (Vienott & Rainson, 1992 p. 486) .*

Com o objetivo de mapear as principais dificuldades que alunos de Física Geral encontram na aprendizagem da Lei de Gauss, Krey (2000) buscou indícios, através da análise de mapas conceituais, resoluções de problemas e questões conceituais, da construção de modelos mentais, no referencial de Johnson-Laird (1983), por parte dos (N = 74) alunos após terem passado pela disciplina. A construção destes modelos seria a evidência de uma aprendizagem significativa. Os resultados de seu estudo mostram que os alunos, mesmo após passarem por um bom ensino tradicional<sup>3</sup>, não constroem um modelo mental das referidas leis, trabalhando apenas com proposições e imagens isoladas, que não correspondem ao desejado para uma aprendizagem significativa. 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 apenas ao serem entrevistados. Ainda segundo Krey (op. cit.), um aluno que tivesse aprendido significativamente a Lei de Gauss, teria construído um correspondente modelo mental de trabalho, onde os diferentes casos de simetria, em particular os de simetria cilíndrica, esférica e plana, seriam diferentes vistas (imagens) deste modelo e não casos separados, sem relação entre si. Deste modo, o aluno ao se deparar com uma situação nova, poderia prever o comportamento do sistema (no caso, como seria a variação de intensidade do campo elétrico), "rodando" seu modelo mental. Podemos observar aqui de forma bastante clara, a relação entre o maior indício da ocorrência de uma aprendizagem significativa, ou seja, a máxima transformação do conhecimento adquirido pelo indivíduo para resolver um problema novo, com o fato dele ter criado um modelo mental de trabalho que possa ser utilizado para dar conta desta nova

---

<sup>3</sup> Baseado em uma metodologia expositiva.

situação. A autora classifica as dificuldades apresentadas pelos alunos no entendimento da Lei de Gauss em categorias, que passamos a descrever.

### **1) Dificuldades de interpretação da lei de Gauss:**

- a) confusão entre campo elétrico e fluxo do campo elétrico (“se não houver carga alguma dentro da superfície gaussiana, o campo é nulo”);
- b) entendimento errôneo de que o campo elétrico que aparece na Lei de Gauss é sempre devido somente às cargas internas à superfície gaussiana.

### **2) Dificuldades operacionais na utilização da lei de Gauss:**

- a) escolha da forma e onde posicionar a superfície gaussiana;
- b) confusão entre as dimensões da gaussiana e as dimensões de objetos que compõem o sistema;
- c) dificuldade em identificar a carga líquida envolvida pela superfície gaussiana;
- d) confusão sobre a distribuição espacial de cargas (“quando as cargas ficam somente na superfície do corpo, ou distribuídas também em seu interior”).

### **3) Dificuldades conceituais:**

- a) diferenciar isolantes de condutores;
- b) não entendimento do conceito de fluxo do campo elétrico, confundindo-o com fluxo de cargas.

Também enfocando a elaboração de modelos mentais criados pelo aluno para compreender a Lei de Gauss, Krapas, Alves & Carvalho (2000) realizaram uma investigação com alunos cursando uma disciplina de Física Geral onde foi aplicado um teste escrito constituído por quatro questões, duas questões qualitativas e duas questões típicas de Física básica, sobre a Lei de Gauss. A primeira questão foi respondida por

142 alunos antes do ensino da Lei de Gauss e por 114 alunos imediatamente após a realização da avaliação ordinária referente a Lei de Gauss. A segunda, terceira e quarta questões foram respondidas por 207, 220 e 210 alunos, respectivamente. Após a análise das respostas, os autores concluíram, da mesma forma que Krey (2000), que falta aos alunos modelos mentais adequados para o entendimento da Lei de Gauss devido à forma como o ensino deste conteúdo é concebido tradicionalmente, privilegiando a resolução de exercícios que se referem a situações muito particulares, i.e., situações de alta simetria, fazendo com que o aluno resuma a Lei de Gauss a apenas mais um método para calcular o campo elétrico.

Encontramos em nossa revisão da literatura dois trabalhos envolvendo o uso de simulações computacionais para o ensino da Lei de Gauss. Massons et al. (1993), avaliaram os efeitos no ensino de Física da inclusão de um *software* capaz de simular linhas de campo elétrico produzidos por cargas estáticas e integrar numericamente o fluxo do campo elétrico através de uma superfície gaussiana definida pelo usuário. O *software* foi utilizado com 40 alunos do ensino superior de licenciatura em Química e um teste com questões objetivas foi aplicado no início e no fim do tratamento, com consulta livre a qualquer material que o aluno dispusesse. Com base no percentual de acertos obtidos nos testes, os autores alegam que a utilização do *software* promoveu uma melhoria significativa no desempenho dos estudantes, motivando o aluno a aprender e facilitando sua compreensão dos fenômenos eletrostáticos.

Cox, Belloni & Christian (2004) buscaram avaliar a combinação de duas ferramentas pedagógicas: simulações computacionais e questões de ordenamento<sup>4</sup>, através de um estudo de caso envolvendo a aplicação de duas questões de ordenamento animadas, a cinco alunos cursando uma disciplina de Física Geral. Após uma aula expositiva curta, para introduzir a Lei de Gauss, os alunos foram instruídos a trabalharem dois exercícios em sala de aula e depois discutirem seus resultados em grupo. Na primeira tarefa foi solicitado aos alunos que determinassem, em ordem decrescente, o fluxo elétrico através de três esferas gaussianas concêntricas (mostradas

---

<sup>4</sup> Em inglês: *ranking tasks*.

como círculos no plano  $xy$ ) envolvendo uma única carga pontual e na segunda tarefa pedido que ordenassem, em termos da quantidade de carga, cinco cargas pontuais utilizando uma simulação que disponibilizava “detectores de fluxo elétrico” na forma de esferas e cubos de diferentes tamanhos. Em relação à primeira tarefa, um detector móvel de campo elétrico fornecia os valores do campo elétrico em qualquer ponto da janela de simulação, com as coordenadas deste ponto também sendo fornecidas.

A partir destas informações, um aluno mediu o campo elétrico sobre cada superfície e calculou  $EA$  enquanto outros dois estudantes argumentaram (sem fazer medições cuidadosas) que devido ao fato do campo elétrico diminuir quando a área da superfície aumenta, o fluxo deveria ser o mesmo<sup>5</sup>. Nenhum dos alunos mencionou que, desde que a carga envolvida pelas diferentes superfícies seja a mesma, o fluxo deve ser o mesmo. Um dos alunos se confundiu com a simulação (interpretou os vetores de campo elétrico mostrados na animação com as linhas de campo elétrico não mostradas) ordenando da menor superfície para a maior. Outro aluno não conseguiu terminar a tempo nenhuma das duas tarefas porque tentou medir o tamanho de cada superfície apresentada para relacionar com o fluxo elétrico em ambas as tarefas. Os três estudantes que conseguiram terminar a segunda tarefa resolveram corretamente a questão raciocinando que o fluxo do campo elétrico está relacionado com a carga envolvida, independente do tamanho e/ou forma do detector de fluxo. Após uma pequena discussão fomentada pelo instrutor, os alunos perceberam que este raciocínio também poderia ser aplicado à primeira tarefa. Os autores concluem que o uso de questões de ordenamento animadas podem, em alguns casos, ajudar na visualização do problema proposto, facilitando sua compreensão. Além disso, elas tornam possível a implementação de tarefas que seriam, em princípio, inviáveis em versões em lápis e papel. Finalmente é argumentado que questões de ordenamento animadas podem permitir ao professor avaliar o conhecimento dos alunos e ajudá-los na compreensão conceitual.

---

<sup>5</sup> É interessante observar o seguinte: o fluxo é constante através de uma superfície qualquer devido à dependência com  $1/r^2$  do campo elétrico. Para uma dependência genérica do tipo  $1/r^n$  o fluxo cai com  $1/r^{n-2}$ .

### 2.1.2 Lei de Ampère

A segunda Lei Física abordada neste trabalho, a Lei de Ampère, se refere a um caso particular de outra das quatro Leis de Maxwell (ver Apêndice A), a Lei de Ampère-Maxwell. Esta particularização se refere a situações onde não existem variações temporais do fluxo de campo elétrico. Em outras palavras, estamos considerando a produção de um campo magnético devido apenas a correntes elétricas de condução. Assim como a Lei de Gauss, ela também não é bem compreendida por boa parte dos alunos, mesmo após passarem pelo curso de Física Geral. Uma típica abordagem didática da Lei de Ampère, por exemplo apresentada por Halliday, Resnick & Walker (2003), começa com uma analogia com a Lei de Gauss, mencionando que, assim como esta facilita os cálculos em relação à Lei Coulomb, a Lei de Ampère facilita os cálculos, em relação à Lei de Biot-Savart, para problemas envolvendo corrente constante e alto grau de simetria nas linhas de campo magnético. Logo após é apresentada a expressão matemática da Lei de Ampère ( $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{liq}$ ) como uma relação existente entre a integral de linha do campo magnético ao longo de um percurso fechado arbitrário (laço amperiano) e a corrente líquida (discutida em detalhe) envolvida por este laço, e é deduzida a expressão matemática para o campo magnético fora de um fio reto longo conduzindo corrente elétrica constante, chegando ao mesmo resultado obtido através da Lei de Biot-Savart de forma mais trabalhosa. Dessa forma, demonstra-se a “validade” da Lei de Ampère. Em seguida, usa-se a Lei de Ampère para obter uma expressão para o campo magnético no interior de um fio reto longo com corrente. Após, utiliza-se a Lei de Ampère para calcular o campo magnético no interior de um solenóide com corrente elétrica estacionária, ilustrando o fato de que mesmo modificando a forma do laço amperiano a lei não é alterada e que o valor da integral de linha só é alterada pelas correntes elétricas que atravessam a área delimitada pelo laço. Como um último exemplo, é discutido o campo magnético devido a um toróide conduzindo corrente elétrica constante. Após esta breve contextualização de como a Lei de Ampère é abordada convencionalmente em sala de

aula, apresentaremos alguns trabalhos encontrados em nossa revisão que abordam o seu ensino.

Dentro de um projeto maior, abordando a investigação das dificuldades de aprendizagem do eletromagnetismo em nível de Física Geral, Moreira & Pinto (2003), buscaram mapear as principais dificuldades que alunos de Física Geral encontram na aprendizagem da Lei de Ampère visando interpretar as mesmas com base na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983). Foram investigados cerca de 230 alunos dos cursos de Engenharia e Matemática, ao longo de dois semestres letivos, através da análise de mapas conceituais, resoluções de problemas e questões conceituais envolvendo a Lei de Ampère. Os resultados obtidos mostram que os alunos, 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. De modo análogo ao trabalho de Krey (2000), integrante do mesmo projeto maior de investigação, se admite que um aluno que tivesse aprendido significativamente a Lei de Ampère teria construído um adequado correspondente modelo mental de trabalho desta lei. Deste modo, o aluno ao se deparar com uma situação nova, poderia prever o comportamento do sistema (no caso, como seria a variação de intensidade do campo magnético), "rodando" seu modelo mental. Infelizmente, não houve indício da criação destes modelos por parte dos alunos. Nas palavras dos autores:

*Inferimos, supomos, que, a rigor, **nenhum** [grifo dos autores] dos alunos pesquisados formou um modelo mental propriamente dito da Lei de Ampère a partir das respostas coletadas. Nenhum dos alunos manifestou domínio imagístico do tema, alguns deram evidência de um modelo proposicional um pouco elaborado, mas a grande maioria parecem ser proposicionalistas de sentido bastante restrito, ou seja, vêem a Lei de Ampère por meio de proposições isoladas e desarticuladas entre si. (Moreira & Pinto, 2003 p. 324)*

Moreira & Pinto (op. cit.) identificam as seguintes categorias como as dificuldades apresentadas pelos alunos no entendimento da Lei de Ampère:

**1) Funcionalidade da lei de Ampère** – visão da Lei de Ampère apenas como um

método para a resolução de problemas com alto grau de simetria, desconsiderando o significado físico e suas implicações fenomenológicas;

**2) “Superfície” amperiana** – nesta categoria estão inseridas as dificuldades relacionadas ao conceito de linha amperiana envolvido na expressão matemática da Lei de Ampère. São três as subcategorias relacionadas com dificuldades com a amperiana:

- a) *dificuldade com a terminologia*: os alunos se referem com frequência à “superfície” amperiana, quando deveriam evocar uma linha ou laço amperiano, possivelmente na tentativa equivocada de fazer uma analogia entre a Lei de Gauss e a Lei de Ampère;
- b) *problemas em calcular e definir a linha amperiana*: não conseguem compreender a arbitrariedade da forma e da escolha do percurso de integração, e não conseguem escolher uma amperiana adequada à simetria do problema;
- c) *dificuldade com a corrente líquida*: em problemas envolvendo distribuição superficial ou volumétrica de corrente, muitos alunos não conseguem localizar espacialmente a corrente líquida englobada pela amperiana, fazem escolhas de amperianas não adequadas, não sabem ponderar a corrente envolvida pela amperiana ou cometem equívocos quanto à distribuição de corrente.

**3) Lei de Ampère versus Lei de Faraday** – indistinção parcial ou total entre a Lei de Ampère e a Lei de Faraday, possivelmente devido a uma questão semântica relacionada ao significado da palavra “variação”. Apesar da palavra “variação” neste contexto ter um sentido único no que se refere à Lei de Faraday (campo magnético *variável* gera corrente elétrica), alguns alunos pensam que somente uma corrente também *variável* possa gerar um campo magnético.

Com o objetivo de analisar as formas de raciocínio que alunos universitários apresentam em relação à Lei de Gauss e a Lei de Ampère, Guisasola et al. (2003), elaboraram cinco situações problemáticas na forma de um questionário e aplicaram a

109 alunos do primeiro ano do Curso de Engenharia Técnica da Universidade do País Basco (Espanha). Em seguida 12 alunos do segundo ano do curso de Física da Universidade de Tucumán (Argentina) foram entrevistados utilizando-se três das situações problemáticas apresentadas no teste. O objetivo da aplicação do questionário e da entrevista foi verificar se havia convergência entre as explicações apresentadas na entrevista, que abordou em profundidade a aplicação das Leis de Gauss e Ampère, e as explicações dadas pelos alunos às questões do questionário.

No primeiro item do questionário perguntou-se se o fluxo do campo elétrico através de uma superfície fechada fosse zero isso implicaria no campo elétrico em cada ponto desta superfície também ser zero. Na segunda questão considerou-se uma placa infinita carregada e foi solicitado aos alunos que indicassem quem gerava o campo elétrico determinado a partir da Lei de Gauss. Na terceira questão foi apresentada a seção transversal de um solenóide infinito, conduzindo uma determinada corrente, e mostrada uma curva de integração em formato retangular envolvendo apenas um trecho da parte superior do solenóide, com a base inferior do retângulo na região interna do solenóide e a base superior na região externa ao mesmo. Perguntou-se aos estudantes quem produzia o campo magnético determinado pela Lei de Ampère neste caso. Na quarta questão foram apresentadas as seções transversais de dois fios infinitos perpendiculares ao plano da folha conduzindo a mesma intensidade de corrente, mas em sentidos opostos. Três laços amperianos circulares foram traçados: (1) envolvendo apenas o primeiro fio; (2) envolvendo apenas o segundo fio; e (3) envolvendo ambos os fios. Perguntou-se aos estudantes (questão 4a) se o campo magnético determinado num ponto A sobre o laço amperiano (2) era dado pela expressão  $B_A = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$  obtida por um aluno a partir da aplicação da Lei de Ampère; e também, se, em relação ao laço (3), o campo magnético nos pontos sobre a trajetória era zero, devido a circulação do campo ser nula para este laço (questão 4b). Para a realização da entrevista foram empregadas as questões 1, 3 e 4a do questionário.

Os autores observaram a convergência dos resultados das entrevistas e das respostas ao questionário, expressando as formas de raciocínio não científico detectadas com os alunos e exemplos de suas argumentações, conforme mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Formas de raciocínio não científico sobre a Lei de Ampère e respectivos exemplos da argumentação padrão dos alunos.

<b>Formas de raciocínio não científico</b>	<b>Exemplos de argumentação padrão</b>
<b>A.</b> Fixação funcional baseada em definições operativas: explicações que implicitamente consideram que o campo é constante em todas as situações em que se aplicam a Lei de Gauss e/ou Ampère	<b>A.</b> “Se $\Phi = 0$ então $0 = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = E \oint ds \Rightarrow E = 0$ ”
<b>B.</b> Reduções funcionais baseadas em construção de implicações simples de fenômenos complexos: <b>B.1.</b> Quando o fluxo ou a circulação é zero se deduz que o campo é zero na superfície gaussiana ou na linha amperiana. <b>B.2.</b> As únicas fontes de campo são aquelas envolvidas pela superfície gaussiana ou pela linha amperiana.	<b>B.1.</b> “Se o fluxo é zero e os vetores $\vec{E}$ e $d\vec{s}$ não são perpendiculares, o campo na superfície deve ser zero de acordo com a lei de Gauss: $0 = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$ ” <b>B.2.</b> “Na lei de Ampère se indica que são as intensidades que atravessam a linha amperiana as que criam os campos magnéticos.”
<b>C.</b> Elaboração de uma explicação “ad hoc” para cada caso. Não se raciocina de acordo com a busca por generalização e sistematização próprias do modo científico, que impõem condições mais estritas e rigorosas.	<b>C.</b> “O campo calculado corresponde somente ao interior da superfície gaussiana.”

## 2.2 O USO DE TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA

Visto por muitos como um remédio para todos os males e por outros tantos como um modismo passageiro, os computadores estão onipresentes na maior parte das áreas do conhecimento humano, desde a construção de usinas atômicas à elaboração de uma simples planilha para o controle do orçamento doméstico. No ensino de Física não é diferente. Através de um motor de busca pela Internet, por exemplo, podemos encontrar milhares de propostas para inovar o ensino. Entretanto, apenas uma pequena parte destes trabalhos passou (ou passaria) pelo aval de pesquisadores e estudiosos do assunto. Apesar desta avaliação não garantir necessariamente a qualidade dos mesmos,

ela serve para delimitar o vasto campo de pesquisa a ser explorado em uma revisão bibliográfica. Por este motivo, nos concentramos em trabalhos submetidos a “avaliação dos pares” como é o caso dos artigos publicados em revistas internacionais especializadas<sup>6</sup> em ensino de Ciências, ou de Física em particular. Acreditamos que saber para onde estão sendo dirigidos os esforços e como isso vem sendo feito torna-se um conhecimento importante para futuras pesquisas na área, justificando assim esta revisão.

O objetivo de nossa revisão foi o de mapear trabalhos envolvendo o computador no ensino de Física em nível superior e médio, identificando as principais modalidades pedagógicas do seu uso e os tópicos de Física escolhidos como tema em artigos publicados pelas principais revistas da área desde os anos noventa. Apesar deste trabalho compreender uma boa amostra do que se encontra na literatura ele de modo algum tenciona ser completo, devendo ser considerado apenas como uma primeira aproximação sobre o tema. Trabalhos de divulgação de algoritmos numéricos para a resolução de problemas específicos em Física que não estejam inseridos em uma proposta pedagógica, não foram abordados. Esclarecemos, também, que não fez parte dos objetivos desta revisão analisar criticamente os artigos aqui apresentados e tampouco esgotar o assunto (Araujo, Veit & Moreira, 2004b).

Os artigos foram selecionados inicialmente pela presença de palavras-chave no título, seguido pela verificação no resumo, na busca por indícios de aplicações computacionais no ensino de Física. As palavras-chave<sup>7</sup> típicas utilizadas nesta busca foram combinações da palavra “Física” com, por exemplo, computador, computacional, programa, simulações, modelagem, modelos, tutoriais, multimídia, coleta de dados, internet, etc. É possível que alguns artigos abordando o tema de pesquisa desta revisão tenham ficado de fora com o uso destes critérios.

---

<sup>6</sup> Incluindo também as revistas: Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física e Revista Enseñanza de la Física (argentina).

<sup>7</sup> Usamos palavras-chave em dois idiomas, Português e Inglês.

Foram revisados um total de 127 trabalhos, oito na forma de discussões e/ou revisões da literatura (cerca de 7% do total) sobre o tema e 119 artigos distribuídos entre trabalhos de pesquisa<sup>8</sup> ou propostas com avaliação empírica (cerca de 47%) e simples apresentações de propostas (cerca de 46%).

Na próxima seção apresentaremos um breve relato dos trabalhos de revisão e discussões sobre a utilização dos computadores no ensino de Física.

### *2.2.1 Discussões sobre as potencialidades de uso do computador no ensino de Física*

No início da década de 90, (Bacon, 1992) aponta como nova tendência no ensino de Física de nível universitário o uso de pacotes de *softwares* com qualidade profissional, em contraste com os programas educacionais desenvolvidos pelos próprios acadêmicos usados até então. Os programas elaborados pelos professores para suas aulas eram comumente construídos a partir de uma linguagem de programação como FORTRAN, BASIC, Pascal ou C, e tinham como vantagem o perfeito entendimento do autor sobre o seu funcionamento. Bacon (ibid) considera que a principal vantagem didática dessas propostas residia no entusiasmo dos autores com a nova perspectiva gerada pelo uso de programas deste tipo. Passado o efeito do fator novidade com a popularização dos computadores e sendo o tempo requerido para o desenvolvimento de *softwares* superior à disponibilidade da maior parte dos professores, houve uma demanda por pacotes de programas mais flexíveis que permitissem a elaboração de materiais didáticos de modo mais fácil e de melhor qualidade. Bacon cita os pacotes matemáticos, e.g. MathCad, Symbolator; os *softwares* de simulação em eletrônica, e.g. Electronics Workbench, Labview; e alguns programas para Astronomia, e.g., *Dance of the Planets*, *Sky*, como exemplos de recursos desejados. Esse autor define três formas principais e distintas nas quais um *software* pode ser usado para melhorar o ensino de Física: 1) uso de programas demonstrativos; 2) uso de modelos computacionais; e 3) o uso de tutoriais.

---

<sup>8</sup> Contendo questões de pesquisa, revisão da literatura, referencial teórico, metodologia, análise dos resultados e conclusão.

Buscando avaliar a interação frutífera que pode ocorrer entre a pesquisa em ensino de Física e o desenvolvimento de *softwares* instrucionais, (McDermott, 1990) toma como exemplo o programa de simulação *Graphs and Tracks* especialmente elaborado para ajudar os alunos a superarem suas dificuldades em interpretação de gráficos da Cinemática. Em sua análise, a autora chama atenção para as seguintes necessidades:

- realização de pesquisa continuada na identificação das dificuldades dos estudantes em várias áreas da Física e também na identificação dos tópicos em que a instrução baseada no uso do computador é mais efetiva;
- desenvolvimento e teste de estratégias instrucionais, usando o computador, endereçadas às dificuldades específicas dos estudantes;
- exame preciso do que o estudante está aprendendo enquanto trabalha com o computador.

Tendo como ponto de partida o tópico modelagem no ensino de Física, (Andarolo, Donzelli & Sperandeo-Mineo, 1991) discutem o papel do computador no processo de ensino-aprendizagem, sob dois pontos de vista: como o computador pode mudar o currículo de Física e os métodos de ensino, de modo a refletir a Física como ela é conduzida hoje; e como resultados pedagógicos sobre o aprendizado do estudante podem guiar um uso mais incisivo desta tecnologia como uma ferramenta pedagógica. (Veit & Teodoro, 2002) discutem a importância da modelagem computacional no processo de ensino/aprendizagem de Física, apontando-a como uma maneira de viabilizar a implementação de algumas características-chave dos novos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) brasileiro.

De forma mais ampla, (Rosa, 1995) faz uma revisão da literatura no período compreendido entre 1979 e 1992 sobre as potencialidades do uso de computadores no ensino de Física e as formas em que eles têm sido usados, sumarizando os resultados obtidos do ponto de vista pedagógico. Esta revisão contempla revistas que tratam direta ou indiretamente com o ensino de Física, exceção feita à revista *Tecnologia*

*Educacional* que, de uma forma mais abrangente, poderia conter algo de interesse no tema. O autor salienta que sua motivação principal é discutir a intenção com que o educador introduziu o computador no ambiente de sala de aula e analisar se houve alguma avaliação do mesmo como instrumento de ensino versus outras possibilidades acessíveis ao educador, como por exemplo, uma aula de laboratório convencional. As seguintes linhas são apresentadas como as principais potencialidades para o uso do computador no ensino de Física: coleta e análise de dados em tempo real; simulação (estática e dinâmica) de fenômenos físicos; instrução assistida por computador; administração escolar; e estudo de processos cognitivos. Dentre estas, a aplicação mais utilizada é a simulação, seguida pelo uso de computadores na coleta automática de dados e pela instrução assistida por computador. Do ponto de vista pedagógico, Rosa (ibid) concluiu que nos artigos pesquisados não existe uma preocupação efetiva com o embasamento teórico em teorias de aprendizagem. O computador foi utilizado indiscriminadamente sem que houvesse uma maior avaliação dos resultados no sentido de fornecer subsídios que respaldem a inserção desta nova tecnologia como ferramenta didática nas escolas.

Ainda dentro do mesmo tema, (Fiolhais & Trindade, 2003) apresentam uma breve resenha histórica da ascensão do uso do computador no ensino de Física discutindo superficialmente os fundamentos teóricos envolvidos neste processo e classificando as principais modalidades do uso de computadores no ensino de Ciências em geral, e em Física em particular. Os autores identificam três períodos distintos em que a aplicação da informática na escola buscou acompanhar a evolução das teorias de aprendizagem. No primeiro período, moldado pela visão de mundo behaviorista, os seguintes pressupostos foram assumidos:

- o comportamento do aluno pode ser razoavelmente previsto se forem bem conhecidos os objetivos pretendidos para o ensino e os métodos para atingi-los (Reigeluth, apud Fiolhais & Trindade, ibid.);

- o conhecimento que o aluno deve adquirir pode ser decomposto em módulos elementares, os quais, depois de dominados, produzem o resultado desejado (Landa, apud Fiolhais & Trindade, *ibid.*);
- a aplicação da teoria comportamentalista é confiável o suficiente para garantir a eficiência do ensino desenvolvido através de sua aplicação sistemática, sendo mesmo dispensável a intervenção do professor (Gagné, apud Fiolhais & Trindade, *ibid.*).

O segundo período, moldado pelo enfoque cognitivista, caracterizou-se pela crença de que não existem dois alunos psicologicamente iguais e que essas diferenças não podem ser ignoradas. Passou-se a enfatizar o *design* das atividades, tanto quanto o seu conteúdo.

Por fim, o terceiro período, no qual vivemos hoje, baseia-se na postura construtivista onde se assume que cada aluno constrói sua visão de mundo de acordo com suas próprias experiências individuais. Também é característica deste período a promoção da capacidade de prever qualitativamente a evolução dos fenômenos como um fator mais importante do que a manipulação de fórmulas ou outras ferramentas formais. Os autores apontam as seguintes implicações do construtivismo na concepção de ambientes de ensino (Jonassen, apud Fiolhais & Trindade, *ibid.*):

- propiciar múltiplas representações da realidade;
- apresentar tarefas contextualizadas;
- propiciar a análise de situações em ambientes reais de aprendizagem, em vez de seqüências esquemáticas.

As principais modalidades do uso de computadores no ensino de Física, para Fiolhais & Trindade (*ibid.*), são: aquisição de dados por computador; modelagem e simulação; materiais multimídia; realidade virtual; e busca de informações na internet.

Partindo da pergunta: “como usar um *software* de simulação em classes de Física?”, (Santos, Otero & Fanaro, 2000) discutem as vantagens e desvantagens

didáticas do uso de um *software* de simulação em Física, estabelecendo relações com a teoria de Ausubel-Novak-Gowin e a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird de modo a dar conta da importância da visualização na construção do conhecimento. O trabalho de (Medeiros & Medeiros, 2002) busca também avaliar a real importância das animações e simulações no ensino de Física, contrastando os principais argumentos levantados pelos defensores deste tipo de atividade com os argumentos dos críticos. Os autores discutem o excesso de entusiasmo acerca das novas tecnologias, em particular das simulações computacionais, aplicadas ao ensino de Ciências, como se estas fossem uma panacéia capaz de solucionar os problemas oriundos de uma perspectiva educacional construtivista, onde a atenção às dificuldades individuais dos alunos torna-se fundamental. A perda da noção da complexidade de um sistema real é apresentada como um dos riscos da utilização acrítica das simulações. Este risco é agravado na medida em que o contexto de validade dos modelos não é discutido com os alunos, e estes tendem a negligenciar as simplificações adotadas, acreditando que a simulação seja um espelho da realidade.

A próxima seção será destinada à delimitação das categorias usadas para a classificação dos artigos, e também aos resultados de nossa revisão bibliográfica no que tange à apresentação de propostas e relatos de pesquisa, envolvendo computadores no ensino de Física.

### *2.2.2 Modalidades pedagógicas do uso do computador e os tópicos de Física abordados na literatura*

Classificamos os trabalhos encontrados na literatura em sete categorias, discriminadas abaixo, de acordo com os diferentes modos de aplicação do computador no ensino de Física, descritos na seção anterior. Elas não são, obviamente, as únicas possíveis, inclusive alguns artigos estão inseridos em mais de uma categoria e abordam mais de um tópico específico de Física. Outros trabalhos trazem propostas abrangentes em termos de conteúdo sem especificar uma área da Física em especial,

eles aparecem classificados sob o tópico *Física em geral*<sup>9</sup>. Em nossa percepção, podemos agrupar os artigos nas seguintes modalidades:

I) **Instrução e avaliação mediada pelo computador** - este modo de aplicação do computador pode ser caracterizado pelo uso de programas-tutores (tutoriais) que se adaptam às dificuldades individuais e aos sucessos de cada estudante, fornecendo instruções personalizadas em seções de interação com o indivíduo. Testes automatizados para a avaliação de concepções prévias, ou mesmo da aprendizagem, após algum tratamento também se enquadram nesta categoria. Uma das principais vantagens seria a possibilidade de atendimento individualizado ao estudante no momento em que ele ou ela sentisse necessidade.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: *cinemática* (Andarolo et al., 1994; Acosta, Sánchez & Lapolli, 1999; Schiel et al., 2002; Silva et al., 2002), *força e movimento* (Andarolo, Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1997; Ravenscroft & Matheson, 2002; Silva et al., 2002; Cox, Belloni & Christian, 2004), *dinâmica rotacional* (Dhillon, 1997), *colisões* (Jong et al., 1999), *leis de Newton* (Reif & Scott, 1999; Schiel et al., 2002), *movimento de projéteis* (Steinberg, 2000), *gravitação e movimento planetário* (Schiel et al., 2002; Silva et al., 2002), *hidrostática* (Howe & Tolmie, 1998; Silva et al., 2002), *transformações de energia* (Crosby & Iding, 1997), *eletrostática e interações coulombianas* (Kashy et al., 1993), *circuitos elétricos* (Ronen & Eliahu, 1999; Nogueira et al., 2000), *teoria da relatividade* (Smith, 1995), *peso dos corpos, luz e calor* (Tsai & Chou, 2002), *formação de sombras* (Howe & Tolmie, 1998), *Física em geral* (Lewis, Harper & Wilson, 1991; Thoennesen & Harrison, 1996), *Lei de Gauss e refração da luz* (Cox, Belloni & Christian, 2004) e *efeito fotoelétrico* (Steinberg, Oberen & Mcdermott, 1996).

II) **Modelagem e simulação computacionais** – as simulações computacionais com objetivos pedagógicos dão suporte a atividades exploratórias caracterizadas pela

---

<sup>9</sup> Inclui tópicos de Física Geral e de Física Avançada.

observação, análise e interação do sujeito com modelos já construídos. A modelagem computacional aplicada ao ensino de Física é desenvolvida em atividades expressivas, caracterizadas pelo processo de construção do modelo desde sua estrutura matemática até a análise dos resultados gerados por ele. A construção de simulações em *softwares* do tipo micromundo (e.g. *Interactive Physics*) também está inclusa nesta categoria.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: ***cinemática*** (Beichner, 1990; Santos, 1991; Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1993; Kleer, Thielo & Santos, 1997; Jong et al., 1998; Roschelle, 1998; Jimoyiannis & Komis, 2001; Yamamoto & Barbeta, 2001; Araujo, Veit & Moreira, 2005a), ***movimento de projéteis*** (Martínez-Jiménez, Álvarez & Pedrajas, 1994; Kleer, Thielo & Santos, 1997; Santos et al., 2000; Steinberg, 2000; Jimoyiannis & Komis, 2001), ***leis de Newton*** (Kleer, Thielo & Santos, 1997; Santos et al., 2000; Gobara et al., 2002; Veit, Mors & Teodoro, 2002), ***conservação de momento e energia*** (Whitelock et al., 1993; Kleer, Thielo & Santos, 1997; Jong et al., 1998; Neto, 2002; Garcia, 2003), ***movimento circular*** (Kleer, Thielo & Santos, 1997; Yamamoto & Barbeta, 2001), ***força e movimento*** (Hennessy, Twigger, Driver, O'shea, O'malley, Byard, Draper, Hartley et al., 1995; Hennessy, Twigger, Driver, O'shea, O'malley, Byard, Draper, Mohamed et al., 1995; Roth, 1995; Grayson & Mcdermott, 1996; Li, Borne & O'shea, 1996; Roth, Woszczyna & Smith, 1996; Andarolo, Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1997; Doerr, 1997; Schiel et al., 1998; Tao & Gunstone, 1999; Yamamoto & Barbeta, 2001; Veit, Mors & Teodoro, 2002; Cox, Belloni & Christian, 2004), ***movimento oscilatório*** (Santos, 1990; Aiello-Nicosia et al., 1997; Camiletti, 2001; Camiletti & Ferracioli, 2002; Jácome et al., 2002; Veit, Mors & Teodoro, 2002), ***movimento planetário*** (Barab et al., 2000; Bakas & Mikropoulos, 2003), ***movimento relativo*** (Monaguan & Clement, 1999), ***efeito fotoelétrico e propriedades do elétron*** (Córdova et al., 1992; Cavalcante & Tavolaro, 2001), ***radiação*** (Dias, Pinheiro & Barroso, 2002), ***espalhamento*** (Terini et al., 1994; Cavalcante, Piffer & Nakamura, 2001), ***transformações de energia*** (Baker & Lund, 1997; Tiberghien & Vries, 1997), ***força coulombiana, campo elétrico e linhas de força*** (Massons et al., 1993; Bonham, Risley & Christian, 1999; Santos, Santos &

Fraga, 2002), *teoria da relatividade* (Sastry & Ravuri, 1990), *pressão, volume e temperatura de um gás* (Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1993; Hsu, 2002), *modelo cinético dos gases* (Méheut, 1997), *métodos numéricos para Física Moderna* (Redish & Wilson, 1993), *Lei de Gauss e refração da luz* (Cox, Belloni & Christian, 2004), *Física em geral* (Matzen, 2003; Zacharia, 2003), *acústica* (García et al., 2004; Silva et al., 2004), *campos eletromagnéticos e potenciais* (Kofman, 2004) e *circuítos elétricos* (Ronen & Eliahu, 2000; Kofman, 2004).

III) **Coleta e análise de dados em tempo real** – a análise inclui gráficos, tabelas, cálculos estatísticos. A principal vantagem deste tipo de atividade seria livrar o aluno do trabalho árduo de anotação de dados deixando-o livre para se concentrar na compreensão dos conceitos físicos. A aproximação do aluno com atividades de laboratório é outro ponto que também pode ser destacado.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: *cinemática* (Thornton & Sokoloff, 1990; Gonçalves, Heinrich & Sartorelli, 1991; Beichner, 1996; Preston & Good, 1996; Sokoloff & Thornton, 1997; Barbeta & Yamamoto, 2002; Schiel et al., 2002; Russel, Lucas & Mcrobbie, 2003), *força e movimento* (Doerr, 1997; Magalhães et al., 2002; Mossmann et al., 2002), *leis de Newton* (Eckstein, 1990; Sokoloff & Thornton, 1997; Schiel et al., 2002), *dinâmica de rotacional* (Gonçalves, Heinrich & Sartorelli, 1991; Preston & Good, 1996), *movimento oscilatório* (Kelly & Crawford, 1996; Preston & Good, 1996; Ochoa & Kolp, 1997; Sousa et al., 1998; Aguiar & Laudares, 2001; Haag, 2001; Moriarty et al., 2003), *circuítos elétricos* (Maps, 1993; Preston & Good, 1996; Sousa et al., 1998; Montarroyos & Magno, 2001; Moriarty et al., 2003), *fenômenos de difração* (Preston & Good, 1996), *medidas de temperatura* (Fagundes et al., 1995; Preston & Good, 1996; Moriarty et al., 2003), *decaimento radioativo* (Preston & Good, 1996), *conservação de momento e energia* (Eckstein, 1990; Benenson & Bauer, 1993; Cavalcante et al., 2002), *espectroscopia* (Scanlon et al., 2004), *força magnética* (Eckstein, 1990), *Física em geral* (Ribas, Souza & Santos, 1998), *equilíbrio térmico e condutividade térmica* (Russel, Lucas & Mcrobbie, 2004),

*movimento de projéteis* (Cavalcante & Tavoraro, 1997) e *propagação de ondas sonoras* (Barbeta & Marzzulli, 2000).

IV) **Recursos multimídia** – inclui uma grande variedade de elementos, como textos, sons, imagens, animações, vídeos e simulações. A idéia é organizar estes elementos em módulos, de modo a fornecer contextos didáticos sobre o tópico em estudo. Os módulos e os elementos estão normalmente inter-relacionados por *links*, possibilitando que o aluno interaja com o material, decidindo o caminho a seguir de acordo com seus interesses. Também foram incluídos nesta categoria *softwares* para a construção de materiais didáticos multimídia.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: *Física em geral* (Watkins et al., 1995; Calverley, Fincham & Bacon, 1998; Rohling et al., 2002), *força e movimento* (Li, Borne & O'shea, 1996; Chanlin, 2001; Kearney et al., 2001; Rezende, 2001; Magalhães et al., 2002), *cinemática* (Brungardt & Zollman, 1995; Jong et al., 1998), *transformações de energia* (Crosby & Iding, 1997), *movimento oscilatório* (Bacon & Swithenby, 1996), *conservação de momento e energia* (Bacon & Swithenby, 1996; Jong et al., 1998); *Leis de Maxwell e circuitos de corrente alternada* (Gutiérrez, 2004) e *mudanças de estado da água* (Bolton & Every, 1990).

V) **Comunicação à distância** – inclui artigos em que o computador é usado como uma ferramenta de comunicação envolvendo o intercâmbio de informações através de mensagens eletrônicas, fóruns de discussão, troca de arquivos, conferências remotas, etc.. Artigos sobre a aplicação de avaliações à distância e a disponibilização remota de tarefas escolares estão inclusos aqui.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: *Física em geral* (Thoennesen & Harrison, 1996), *transformações de energia* (Baker & Lund, 1997; Tiberghien & Vries, 1997), *força e movimento* (Bonham, Deardorff & Beichner, 2003) *eletrostática e interações coulombianas* (Kashy et al., 1993; Bonham, Risley & Christian, 1999),

*conservação de momento e energia* (Garcia, 2003), *acústica* (García et al., 2004), *espectroscopia* (Scanlon et al., 2004), *circuitos elétricos, campos eletromagnéticos e potenciais* (Kofman, 2004) e *teoria da relatividade* (Smith, 1995).

**VI) Resolução algébrica/numérica e visualização de soluções matemáticas** – inclui artigos de pesquisas em ensino e/ou propostas pedagógicas envolvendo a resolução numérica ou algébrica de problemas de Física, ou ainda a representação gráfica das soluções matemáticas. No caso das soluções numéricas são empregadas linguagens de programação de alto nível como FORTRAN, C, MatLab e Pascal; nas soluções algébricas *softwares* como o Mapple, MathCad e o Mathematica.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: *Física matemática* (Redish & Wilson, 1993; Domingues, 2003), *eletrostática* (Savelsbergh, Jong & Ferguson-Hessler, 2000), *equações de Maxwell* (Alves, Amaral & Neto, 2002), *mecânica geral* (Silva et al., 2002), *mecânica quântica* (Kinderman, 1990), *momento de inércia* (Macedo & Macedo, 2002) e *ondas sonoras* (Bleicher et al., 2002).

**VII) Estudo de processos cognitivos** – inclui os artigos voltados à pesquisa dos processos cognitivos do aluno em sua interação com o computador ou, ainda, em sua interação com os colegas ou com o professor, tendo a máquina o papel de fornecer o contexto pedagógico.

Tópicos de Física abordados nesta categoria: *cinemática* (Russel, Lucas & Mcrobbie, 2003), *força e movimento* (Grayson & Mcdermott, 1996; Tao & Gunstone, 1999; Kearney et al., 2001), *conservação de momento e energia* (Whitelock et al., 1993), *movimento oscilatório* (Kelly & Crawford, 1996).

Dentre as modalidades identificadas anteriormente, a que mais aparece na literatura é a **modelagem e simulação computacional** (64 artigos), em segundo lugar vêm a **coleta e análise de dados em tempo real** (31 artigos) e em terceiro a **instrução**

**e avaliação mediadas pelo computador** (25 artigos). A área da Física mais abordada foi a **Mecânica Geral** (94 artigos), seguida pelo **Eletromagnetismo** (28 artigos) e pela **Termodinâmica** (16 artigos). A Tabela 2.3 apresenta a distribuição de artigos por modalidade<sup>10</sup> e por áreas da Física. A soma do número de artigos por categoria (ou por área) supera o número total de artigos publicados, porque às vezes um mesmo artigo foi incluído em mais de uma categoria ou área.

Observamos que os trabalhos estão concentrados maciçamente em tópicos relacionados à Mecânica Newtoniana, abordada majoritariamente por meio da modelagem e simulação computacionais, enquanto é baixa a escolha de tópicos relacionados à Ótica e à Física Moderna como temas de investigação/suporte.

O número total de cerca de 62 publicações classificadas como trabalhos de pesquisa ou propostas com alguma avaliação empírica é muito pequeno, se levarmos em conta o número total de publicações nestas revistas, o grande uso que tem sido feito dos computadores nas atividades de ensino e a quantidade do material instrucional disponível na *web*. Ainda que se compute os artigos que simplesmente apresentam propostas sem avaliação (cerca de 57), e os de revisão e reflexão (8), consideramos muito baixa a produção na área e entendemos necessário envidar esforços no sentido de que mais pesquisas sejam desenvolvidas neste campo ou que a atividade de desenvolvimento seja conduzida mais próxima da atividade de pesquisa.

Tabela 2.2 - Número de artigos publicados por categoria e por área da Física

	Mecânica	Termodinâmica	Eletromagnetismo	Ótica	Física Moderna	N.A.*	<b>Total</b>
I	13	2	4	2	2	2	25
II	41	6	8	1	7	2	<b>65</b>
III	22	4	7	1	-	1	31
IV	9	2	2	-	-	3	16
V	3	2	5	-	1	1	12
VI	3	-	2	-	1	2	8
VII	6	-	-	-	-	-	6
<b>Total</b>	<b>95</b>	16	28	4	11	10	

\* não adotam nenhuma área (N.A.) da Física em particular.

<sup>10</sup> Não estão incluídos os artigos que discutem as potencialidades do computador no ensino, descritos na segunda seção deste trabalho.

### *2.2.3 Simulação e modelagem computacionais*

Atividades de modelagem computacional e de simulação computacional se distinguem, basicamente, na nossa visão, pelo acesso que o aluno tem ao modelo matemático ou icônico subjacente à implementação da atividade. Em uma simulação computacional representando um modelo físico, o aluno pode inserir valores iniciais para variáveis, alterar parâmetros e, de forma limitada, modificar as relações entre as variáveis; entretanto, ele não tem autonomia para modificar o cerne da simulação (modelo matemático pré-especificado), ou seja, acesso aos elementos mais básicos que a constituem. A interação entre o aluno e a simulação tem um caráter eminentemente exploratório. Em relação à modelagem computacional podemos pensar também em um modo exploratório onde o aluno recebe um modelo computacional pronto devendo explorá-lo, mas com a diferença, agora, de que ele tem acesso aos seus primitivos, mesmo que em determinadas atividades não lhe seja solicitada a alteração da estrutura básica do modelo.

As atividades exploratórias em geral caracterizam-se pela observação, análise e interação do sujeito com modelos já construídos no intuito de permitir ao aluno a percepção e a compreensão das eventuais relações existentes entre a matemática, subjacente ao modelo, e o fenômeno físico em questão. Neste tipo de atividade, o aluno é motivado a interagir com o modelo computacional a fim de responder questões apresentadas em forma de perguntas dirigidas e “desafios”. 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. No caso da atividade exploratória de modelagem computacional o aluno tem acesso à estrutura básica do modelo implementado, podendo modificá-lo se desejado.

Outro modo possível de trabalhar com modelagem computacional aplicada ao ensino é o chamado modo expressivo<sup>11</sup>. As atividades desenvolvidas neste modo podem ser caracterizadas pelo processo de construção do modelo desde sua estrutura matemática até a análise dos resultados gerados por ele. Neste tipo de atividade são apresentadas questões que visam à elaboração de modelos a partir de determinados fenômenos de interesse, sobre os quais podem ser fornecidas tanto informações qualitativas quanto quantitativas do sistema. O aluno pode interagir totalmente com o seu modelo, podendo reconstruí-lo tantas vezes quanto lhe pareça necessário para a produção de resultados que lhe sejam satisfatórios.

Em relação à categoria Modelagem e Simulação, apresentamos na Tabela 2.3 uma síntese de artigos que se constituem em propostas de atividades, e na Tabela 2.5, uma síntese dos artigos de pesquisa em função do conteúdo de Física abordado, dos objetivos, do referencial teórico, e para o caso de trabalhos de pesquisa, a amostra, instrumentos e resultados/conclusões relevantes. Em ambas as tabelas, os artigos também foram classificados em termos de: Atividade Exploratória de Simulação (AES); Atividade Exploratória de Modelagem (AEM); e Atividade Expressiva (AE).

Na Tabela 2.3 – propostas de atividades – podemos observar que dentre as áreas da Física a mais abordada foi a **Mecânica Geral** (16 artigos; 5 para o ensino médio, 8 para o ensino superior e 3 para o ensino superior e médio ), seguida pela **Física Moderna** (6 artigos; 4 para o ensino médio e 2 para o ensino superior) e pelo **Eletromagnetismo** (4 artigos; 3 para o ensino superior e 1 para ensino superior e médio). Não foram encontradas propostas referentes à **Termodinâmica** e à **Ótica**. Além disso, aparecem discutidos diretamente nesta tabela os objetivos que guiaram as propostas.

Tanto na Tabela 2.3 quanto na Tabela 2.5 aparece uma coluna relativa à presença de um referencial teórico (de aprendizagem) explícito. Em outras palavras,

---

<sup>11</sup> Muitas vezes denominado de modo de criação.

buscamos avaliar se tanto as propostas didáticas quanto as pesquisas realizadas levam em consideração de forma explícita alguma teoria de aprendizagem sobre como o aluno aprende. Dos 25 artigos da Tabela 2.3 (apresentação de propostas), encontramos 2 artigos que enfocaram *mudança conceitual*; 1 artigo abordando *aprendizagem por descoberta* e 2 artigos enfocando o *construtivismo*, como referencial teórico. Os outros 18 artigos restantes não trazem um referencial teórico explicitado<sup>12</sup>. Observe-se que o número de experiências propostas que explicitam um referencial teórico é muito baixo.

Na Tabela 2.4 sintetizamos o resultados obtidos a partir da Tabela 2.3, fornecendo a distribuição do número de propostas apresentadas em função da área da Física, nível de aplicação e tipo geral de atividade (simulação e modelagem computacionais). A soma total do número de artigos por área supera o número total de artigos publicados, porque às vezes um mesmo artigo foi incluído em mais de uma área.

Analisando a Tabela 2.5, onde estão agrupados os trabalhos de pesquisa ou propostas com avaliação empírica envolvendo o uso de modelagem e simulação computacionais no ensino de Física, podemos observar que dentre as áreas da Física a mais abordada foi a **Mecânica Geral** (24 artigos; 12 para o ensino médio, 11 para o ensino superior e 1 para o ensino superior e médio), seguida pelo **Eletromagnetismo** (5 artigos; 2 para o ensino médio e 3 para o ensino superior) e pela **Termodinâmica** (4 artigos; 2 para o ensino médio e 2 para ensino superior). Houve apenas um trabalho relacionado à **Física Moderna** e outro relacionado à **Ótica**, ambos para o ensino superior. Além disso, aparecem discutidos diretamente nesta tabela os objetivos que guiaram as propostas, a amostra envolvida, os instrumentos utilizados e um breve resumo dos resultados/conclusões relevantes.

Em relação ao referencial teórico sobre aprendizagem, dos 32 artigos da Tabela 2.5 (trabalhos de pesquisa ou proposta com avaliação empírica), encontramos 8 artigos

---

<sup>12</sup> Buscamos em todos os artigos analisados, seções e/ou referências sobre teorias de aprendizagem.

que enfocaram *mudança conceitual*; 1 artigo abordando *aprendizagem colaborativa*; 3 artigos envolvendo *modelos mentais*; 2 trabalhos focalizando *concepções alternativas*; 1 artigo enfocando *aprendizagem significativa ausubeliana*; 1 artigo envolvendo *Theory of Reasoned Action* e 2 artigos abordando o *construtivismo* como referencial teórico. Os demais artigos (16) não trazem um referencial teórico explicitado. Nesta categoria metade dos artigos estão ancorados em um referencial teórico, porém é ainda um percentual insatisfatório, se levarmos em conta que todos estes são artigos de pesquisa na área de ensino de Física.

Na Tabela 2.6 sintetizamos o resultados obtidos a partir da Tabela 2.5, fornecendo a distribuição do número de trabalhos de pesquisa ou propostas com avaliação empírica em função da área da Física, nível de aplicação e tipo geral de atividade (simulação e modelagem computacionais). A soma total do número de artigos por área supera o número total de artigos publicados, porque às vezes um mesmo artigo foi incluído em mais de uma área.

Tabela 2.3 – Propostas de atividades de modelagem e simulação computacionais encontrados na revisão da literatura

Referência	Tipo de Atividade	Conteúdo	Objetivo	Referencial Teórico explícito
(Sastry & Ravuri, 1990)	AES	Relatividade	Apresentação de um <i>software</i> educacional interativo para a modelagem de alguns fenômenos relativísticos em 2D. (Ensino superior)	-
(Santos, 1990)	AE; AEM	Oscilador harmônico amortecido	Proposta de modelagem matemática de sistemas físicos utilizando um sistema de modelagem celular CMS. (Ensino superior)	-
(Santos, 1991)	AE; AEM	Cinemática	Apresentação de algumas atividades que podem ser realizadas utilizando um sistema computacional de modelagem semiquantitativa denominado IQON. (Ensino médio)	-
(Córdova et al., 1992)	AES	Efeito fotoelétrico; Propriedades do elétron; Condensadores	Apresentação de um conjunto de três simulações para os seguintes experimentos: 1) determinar a constante de Planck através do efeito fotoelétrico; 2) determinação da razão entre a carga do elétron e sua massa; 3) determinação da capacidade de um condensador. (Ensino superior)	-
(Terini et al., 1994)	AES	Espalhamento	Apresentação de um programa de simulação da experiência de Geiger e Marsden do espalhamento de partículas alfa. (Ensino superior)	-
(Hennessy, Twigger, Driver, O'shea, O'malley, Byard, Draper, Hartley et al., 1995)	AES	Força e movimento	Desenvolvimento de um conjunto de materiais educacionais com simulações computacionais incorporados a atividades escritas e atividades práticas, buscando uma mudança no entendimento conceitual dos estudantes sobre fenômenos Físicos. (Ensino médio)	Mudança conceitual
(Li, Borne & O'shea, 1996)	AES	Força e movimento	Descrição de uma ferramenta para criação de simulações computacionais, por parte dos professores, para o ensino e o aprendizado da mecânica newtoniana. (Ensino médio)	Mudança conceitual
(Kleer, Thielo & Santos, 1997)	AES	Cinemática; Leis de Newton; Conservação do momento	Apresentação de um programa que explicita o uso de conceitos físicos na investigação de acidentes de	-

		linear; Movimento circular e Movimento de projéteis	trânsito. (Ensino médio e superior)	
(Jong et al., 1998)	AES	Cinemática; Conservação de momento e energia	Apresentação de um <i>software</i> (SIMQUEST) para o delineamento e construção de ambientes de aprendizagem baseados em simulação. (Ensino médio e superior)	Aprendizagem por descoberta
(Schiel et al., 1998)	AE	Cinemática; Movimento circular; Oscilações; Movimento planetário	Apresentação de um curso a distância voltado a professores e alunos no ensino médio envolvendo experiências quantitativas sobre a mecânica do ponto material. (Ensino médio)	-
(Bonham, Risley & Christian, 1999)	AES	Força coulombiana; Campo elétrico e linhas de força	Apresentam seis exercícios utilizando physlets com o objetivo de ajudar os estudantes a visualizar e interagir com fenômenos eletrostáticos. (Ensino superior)	-
(Santos et al., 2000)	AES; AEM; AE	Leis de Newton; Movimento de projéteis	Apresentação de algumas possibilidades de uso dos princípios de sistemas de Forrester em tópicos de Física através da ferramenta computacional STELLA. (Ensino superior)	-
(Cavalcante, Piffer & Nakamura, 2001)	AES	Espalhamento; Leis de Conservação de momento e energia	Apresentação de uma proposta que alia um aparato para o estudo da forma geométrica de diferentes alvos, a partir das leis de conservação de momento e energia, com simulações computacionais ( <i>software</i> “normal” e em java) para a introdução de temas de Física moderna. (Ensino médio)	-
(Yamamoto & Barbeto, 2001)	AES	Cinemática; Força e movimento; Movimento circular uniforme	Discussão do uso de simulações computacionais feitas com o <i>software Interactive Physics</i> para simular experimentos envolvendo cinemática, força e movimento; e movimento circular uniforme. (Ensino superior)	-
(Cavalcante & Tavolaro, 2001)	AES	Efeito fotoelétrico	Apresentação de duas simulações computacionais, uma para estudar o efeito fotoelétrico e outra simula o experimento de Thomson em uma proposta de inserção da Física moderna na forma de uma oficina. (Ensino médio)	-
(Dias, Pinheiro &	AES	Radiação, Física Nuclear	Apresentação de um programa desenvolvido para	-

Barroso, 2002)			simular um conjunto de equipamentos (detector e contador de radiação, fontes radioativas e placas absorvedoras) usados em laboratórios básicos de Física Nuclear. (Ensino superior)	
(Jácome et al., 2002)	AES	Osciladores	Desenvolvimento de um programa educativo versando sobre modos normais em uma cadeia de osciladores acoplados. (Ensino superior)	-
(Neto, 2002)	AES	Conservação do momentum e energia	Apresentação de um <i>software</i> para análise de acidentes de trânsito. (Ensino superior)	-
(Santos, Santos & Fraga, 2002)	AES	Força coulombiana; Campo elétrico e linhas de força	Apresentação de um sistema de realidade virtual para simulação e visualização de cargas pontuais discretas e seu campo elétrico. (Ensino médio e superior)	Construtivismo piagetiano
(Veit, Mors & Teodoro, 2002)	AES; AEM; AE	Leis de Newton; Força e movimento; Osciladores	Apresentação de uma forma de ensinar a 2ª lei de Newton usando modelagem computacional através do programa Modellus. (Ensino médio e superior)	-
(Garcia, 2003)	AES	Colisões de partículas	Descrição de um curso interativo de Física pela internet envolvendo a simulação computacional da dinâmica dos sistemas de partículas. (Ensino superior)	-
(Matzen, 2003)	AES; AEM; AE	Física em geral	Descrição do uso de simulações e modelagem computacional em um curso interativo, disponível na internet. (Ensino superior)	-
(García et al., 2004)	AES	Acústica	Desenvolvimento de um <i>software</i> para experimentos sobre batimento de ondas sonoras. (Ensino superior)	-
(Kofman, 2004)	AES	Circuitos elétricos RLC; Campos eletromagnéticos e potenciais	Descrever e fundamentar uma metodologia de aplicação das novas tecnologias de informação e comunicação, envolvendo simulações computacionais num curso de Física universitário estendido para a formação continuada de professores com ensino a distância. (Ensino superior)	Construtivismo
(Silva et al., 2004)	AES	Acústica	Divulgação de um curso interativo envolvendo simulações computacionais sobre acústica, disponível livremente na internet. (Ensino superior)	-

Tabela 2.4 – Distribuição do número de propostas em função da área da Física, do nível de aplicação e do tipo geral de atividade.

Áreas da Física	Nível de ensino									Total
	Ensino superior			Ensino médio			Ensinos superior e médio			
	Simul.	Model.	S&M	Simul.	Model.	S&M	Simul.	Model.	S&M	
Mecânica	6	1	1	3	2	-	2	-	1	16
Eletromagnetismo	3	-	-	-	-	-	1	-	-	4
Termodinâmica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ótica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Física Moderna	2	-	-	3	-	-	-	-	-	5
Física em geral	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
<b>Total</b>	11	1	2	6	2	-	3	-	1	

Tabela 2.5 – Trabalhos de pesquisa ou propostas com avaliação empírica envolvendo o uso de modelagem e/ou simulação computacional no ensino de Física.

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
(Beichner, 1990)	Cinemática	AES	Avaliar as vantagens educacionais da apresentação de uma simulação que replica visualmente o movimento real, durante o traçado de gráficos cinemáticos em tempo real, obtidos com experimentos MBL.	-	165 alunos do ensino médio; 72 alunos do ensino superior.	Pré-teste e pós-teste.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não houve diferença estatisticamente significativa entre o desempenho no pré-teste e no pós-teste.</li> <li>• O <i>feedback</i> sinestésico pode ser o componente mais importante em atividades MBL.</li> </ul>
(Bellomonte &	Cinemática; Pressão e	AE; AEM	Obter indícios pedagógicos sobre a	-	112 alunos do ensino médio	Relatórios de experiências.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O <i>software</i> (sem nome) ajudou os estudantes a desenvolverem</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
Sperandeo-Mineo, 1993)	volume de um gás; Lei de Boyle.		modelagem matemática de grandezas físicas, através de um <i>software</i> , elaborado para permitir que os estudantes trabalhassem confortavelmente com interpretação de dados e o uso da matemática para descrever os processos físicos.				<p>habilidades relacionadas ao reconhecimento de funções e controle gráfico dos dados.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Os alunos também aprenderam a estimar corretamente os efeitos dos erros experimentais no procedimento de inferência.</li> <li>• Apesar de várias ferramentas comerciais como planilhas de cálculo poderem ajustar automaticamente os dados experimentais, o <i>software</i> utilizado no estudo permite que o estudante faça uma seleção crítica da função apropriada para a descrição matemática dos dados em estudo e, desta forma, desenvolvendo a habilidade de interpretação de dados em laboratório.</li> </ul>
(Massons et al., 1993)	Eletrostática	AES	Analisar os efeitos no ensino de Física da inclusão de um <i>software</i> capaz simular linhas de campos elétricos produzidos por cargas estáticas.	-	40 alunos do ensino superior de licenciatura em Química	Um teste com questões objetivas, aplicado no início e no fim do tratamento, com consulta livre a qualquer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparentemente (estatística descritiva apenas), a utilização do <i>software</i> promoveu uma melhoria significativa no desempenho dos estudantes.</li> <li>• O uso das atividades de simulação propostas pode motivar o aluno a aprender,</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
						material que o estudante dispusesse, nas duas situações.	facilitando sua compreensão dos fenômenos eletrostáticos.
(Redish & Wilson, 1993)	Caos, Física Quântica, Mecânica, Termodinâmica.	AEM; AE	Introduzir o estudante em habilidades relacionadas à pesquisa científica através de atividades de programação computacional, onde o estudante conta com rotinas e bibliotecas computacionais para resolver problemas numéricos.	-	134 alunos do ensino superior.	Testes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os estudantes não precisam necessariamente saber programar antes de trabalhar com as atividades.</li> <li>Estudantes que passaram pelas atividades de programação computacional aumentaram sua capacidade de resolver problemas tradicionais.</li> <li>Os estudantes foram capazes de delinear e completar projetos mais rapidamente do que o usual, através do pacote de programas M.U.P.P.E.T.</li> </ul>
(Whitelock et al., 1993)	Conservação do momentum e energia	AES	Estudar os aspectos cognitivos do conflito entre o modelo de raciocínio usado pelos alunos e simulações computacionais, quando as previsões de ambos divergem.	-	20 alunos do ensino médio.	Questionários; entrevistas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>A construção cooperativa de significados compartilhados parece ser mais importante para uma colaboração bem sucedida do que o conflito conceitual.</li> </ul>
(Martínez-	Movimento de	AES	Comparar o	-	115 alunos do	Relatório de	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os alunos que trabalharam com</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
Jiménez, Álvarez & Pedrajas, 1994)	projéteis.		desempenho de estudantes que trabalharam com uma simulação computacional, sobre a influência de forças de atrito variáveis, em movimentos 2D, com outros alunos que passaram pelas atividades tradicionais.		ensino superior.	atividades sobre o uso das simulações e testes.	<p>simulações computacionais tiveram um desempenho superior aos que passaram somente por atividades tradicionais.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Devemos considerar o papel motivador que o computador exerce sobre o aprendizado do aluno, e seguir elaborando materiais didáticos acompanhados de uma investigação sobre sua influência no processo de aprendizagem.</li> </ul>
(Hennessy, Twigger, Driver, O'shea, O'malley, Byard, Draper, Mohamed et al., 1995)	Força e movimento.	AES	Avaliar os efeitos de uma intervenção em sala de aula, usando um conjunto de materiais com simulações computacionais incorporados a atividades escritas e práticas, buscando uma mudança no entendimento conceitual dos estudantes sobre Mecânica.	Mudança conceitual	29 alunos do ensino médio.	Pré-teste, pós-teste e pós-teste com atraso; entrevistas clínicas (9 alunos).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A intervenção promoveu certa mudança conceitual no raciocínio dos alunos que passaram pelas atividades, especificamente, explicações afirmando que movimento implica na atuação de forças e exclusão da fricção como uma força oposta ao sentido do movimento, foram menos citadas.</li> <li>• A elaboração de um currículo, orientado ao uso de vários computadores situados dentro de um laboratório comum,</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
							pode ser tanto possível quanto eficaz.
(Roth, 1995)	Força e movimento.	AES	Entender o aprendizado dos estudantes em conversações com o professor, a partir (e sobre) um micromundo newtoniano implementado computacionalmente ( <i>Interactive Physics</i> ).	-	46 alunos do ensino médio.	Gravação de videoteipes (4 grupos com 3 alunos cada).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O <i>software</i> forneceu um contexto de ensino-aprendizagem adequado para que os estudantes e o professor pudessem discutir suas idéias.</li> <li>• A interface computacional tornou-se um mediador pelo qual o professor e os estudantes puderam compartilhar significados.</li> </ul>
(Grayson & Mcdermott, 1996)	Força e movimento	AES	Investigar, através de entrevistas auxiliadas pelo computador (cuja função é fornecer o contexto), como os estudantes raciocinam sobre movimentos em um plano inclinado e sobre a máquina de Atwood.	-	23 alunos do ensino superior	Gravações de entrevistas em videoteipe.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• As principais dificuldades de raciocínio apresentadas pelos estudantes: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) eles ignoram os efeitos de suas próprias ações ou mudanças em um sistema, quando os resultados entram em conflito com suas pré-concepções;</li> <li>b) não reconhecem como variáveis específicas afetam um movimento ou sua representação gráfica;</li> <li>c) não exploram padrões e simetrias, e falham em controlar variáveis.</li> </ul> </li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
							<ul style="list-style-type: none"> <li>• As entrevistas auxiliadas pelo computador são capazes de fornecer indícios de como os estudantes pensam quando confrontados com fenômenos físicos que contradizem suas expectativas.</li> <li>• Simplesmente apresentar ao estudante a resposta correta, ou colocá-lo numa situação na qual haja conflito entre suas pré-concepções e os conceitos cientificamente aceitos, não garantem que eles resolverão adequadamente o conflito. Os estudantes devem ser ajudados a reconhecer de que forma suas próprias idéias são inadequadas, e porque os conceitos científicos são mais úteis.</li> </ul>
(Roth, Woszczyna & Smith, 1996)	Força e movimento.	AES	Investigar como computadores e um <i>software</i> de modelagem ( <i>Interactive Physics</i> ), contribuem para a interação entre os estudantes e o aprendizado em um	-	46 alunos do ensino médio.	Gravação de videoteipes (4 grupos com 3 alunos cada).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O <i>software</i> contribuiu de forma significativa na manutenção e coordenação das conversações dos estudantes sobre Física.</li> <li>• Algumas vezes o programa foi difícil de usar, de modo que os estudantes gastaram mais tempo aprendendo sobre o <i>software</i> do que sobre Física.</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
			curso de Física.				<p>Além disso, limitou a interação entre os grupos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Assim como o computador tem potencial para tornar-se uma ferramenta de aprendizagem, ele também limita, significativamente, interações essenciais em salas de aula, hoje em dia.</li> </ul>
(Aiello-Nicosia et al., 1997)	Oscilações harmônicas.	AES	Investigar o impacto no aprendizado dos estudantes, de uma metodologia de ensino que integra trabalho em laboratório, simulações computacionais e resolução de problemas, avaliando também o treinamento de professores para uso desta metodologia.	-	285 alunos do ensino médio; 12 professores do ensino médio (Física e Matemática)	Teste inicial e teste final, ambos com questões abertas; notas de aula dos alunos; diário de classe dos professores; entrevistas (com os alunos); dois questionários aplicados aos professores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Os professores, aplicando a nova metodologia, possibilitaram aos próprios alunos a realização das experiências de laboratório e a execução de simulações computacionais, alterando o modo como ministravam suas aulas anteriormente, onde estes recursos eram usados apenas de forma demonstrativa.</li> <li>A maior parte dos alunos que apresentavam maiores dificuldades antes do tratamento, aprenderam novos conceitos e aumentaram suas habilidades em relação à interpretação e uso de gráficos.</li> <li>O ensino de mecânica das oscilações pode ser melhorado</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
							através de um currículo integrando experimentos e simulações computacionais.
(Andarolo, Bellomonte & Sperandeo-Mineo, 1997)	Força e movimento	AES	Investigar as representações e conceitualizações do aprendiz, sobre objetos interagindo (apresentados na forma de simulações), e avaliar o impacto de atividades computacionais exploratórias no seu aprendizado.	Modelos mentais (Gentner & Stevens); mudança conceitual (Posner).	146 alunos do ensino superior	Desenhos de diagramas de força; Entrevistas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muitos estudantes apresentam dificuldades em perceber as interações entre as diferentes partes que compõem o sistema selecionado e/ou entre eles e o resto do mundo. Boa parte deles possui o conceito de força como uma propriedade dos corpos.</li> <li>Os estudantes que estavam atentos ao conflito, induzido pela necessidade de modelar computacionalmente todas as interações no diagrama de corpo livre, sentiram a necessidade de procurar por novas forças, que não estivessem relacionadas explicitamente com o movimento do corpo (massas conectadas por um fio, deslizando sobre uma mesa).</li> <li>As atividades exploratórias podem ser usadas pelo professor, para fornecer aos estudantes situações que permitam um melhor</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
							entendimento conceitual das forças envolvidas em vários sistemas, apresentando situações que promovam um conflito cognitivo entre pré-concepções inadequadas e as concepções científicas, sendo este conflito condição necessária, mas não suficiente, para uma mudança conceitual segundo Posner et al. (1992).
(Baker & Lund, 1997)	Transformações de energia	AEM; AE	Analisar como atividades reflexivas do tipo: explicar, justificar e avaliar soluções de problemas, podem ser promovidas durante uma tarefa de modelagem em Física, com a comunicação mediada pelo computador ,delineada de duas formas diferentes: uma com a possibilidade de troca livre de textos, e a outra através de um conjunto restrito de possibilidades de comunicação	Aprendizagem colaborativa	8 pares de alunos do ensino médio.	Registros de suas atividades ao interagir com o computador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quando os estudantes se comunicam escolhendo botões (nas caixas de diálogo) eles tem que autoclassificar sua ação comunicativa, fazendo com que reflitam sobre a mesma e focalizem a tarefa a ser realizada.</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
			(caixas de diálogo).				
(Doerr, 1997)	Força e movimento	AES	Desenvolver e avaliar um referencial de trabalho, para um processo de modelagem computacional, integrado por simulações computacionais com experimentos reais e ferramentas computacionais para análise de dados.	Concepções alternativas (Viennot) e mudança conceitual.	17 alunos do ensino médio.	Videoteipes; notas de campo; cópias do trabalho dos estudantes feitos no computador; cópia de avaliações feitas pelos estudantes; pré-teste e pós-teste.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embora os estudantes sempre tivessem a opção de usar um ambiente de simulação computacional para confirmar seus resultados, gerar a solução antes deles resolverem os problemas analíticos ou preverem os resultados que são obtidos ao realizar a experiência real eles não o fizeram. Entretanto mostraram que ainda mantinham o conhecimento adquirido em unidades anteriores onde as simulações computacionais foram usadas extensivamente.</li> <li>• As simulações computacionais e a ferramenta de análise de dados se mostraram poderosas e flexíveis na execução das tarefas, incentivando o aluno a gerar e testar suas próprias hipóteses e conjecturas.</li> </ul>
(Méheut, 1997)	Modelo cinético dos gases	AES	Testar a hipótese geral da pesquisa, de que um modelo somente pode ser aceito pelos alunos se ele parecer uma ferramenta melhor	Mudança conceitual (Posner)	5 pares alunos do ensino médio.	Entrevistas; relatórios feitos em sala de aula; questionários.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seus resultados indicam que os alunos não adotaram o modelo de partículas para explicar o aquecimento e o resfriamento de um gás. Eles julgaram que não apresentaram questões em número suficiente para os</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
			para explicar ou prever os fenômenos.				alunos sentem a necessidade de adotar o modelo de partículas.
(Tiberghien & Vries, 1997)	Transformações de energia num circuito elétrico simples.	AES	Comparar o processo de resolução de problemas, de forma colaborativa por estudantes do ensino médio sentados lado-a-lado, e a distância, mediados pelo computador.	-	34 alunos do ensino superior	Gravações em videoteipe (lado-a-lado) e registro de correspondências eletrônicas (a distância).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embora <i>a priori</i> processos cognitivos simples (associação de um elemento do experimento com um elemento do modelo, por exemplo) sejam mais fáceis de expressar do que os complexos (a energia armazenada na bateria é transformada em luz e calor pela lâmpada, por exemplo), ambos aparecem nas situações lado-a-lado, e nos diálogos a distância, apenas aparecem os mais complexos.</li> <li>• Nas situações lado-a-lado os estudantes discutem explicitamente o problema antes de construir a solução, enquanto nos casos a distância os estudantes constroem uma solução parcial individual e a apresentam para o companheiro.</li> <li>• Apesar de ambos os processos cognitivos serem necessários, somente a explicitação de processos cognitivos</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
							complexos pode ser indispensável para a resolução colaborativa de problemas.
(Roschelle, 1998)	Cinemática.	AES	Investigar possíveis mudanças conceituais, sobre o tema cinemática, através de um estudo de caso onde os alunos interagiram com simulações computacionais, envolvendo os conceitos de velocidade e aceleração.	Mudança conceitual (Posner).	2 alunos do ensino médio.	Entrevistas; Registros feitos pelos alunos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O estudo de caso sugere que um aumento no aprendizado dos estudantes pode ser distribuído através de diferentes tipos de conceitos, incluindo registros, casos qualitativos e geração de metáforas, e que esse sistema apenas de forma gradual se aproxima do conhecimento científico canônico.</li> <li>• Os resultados apontam para a possibilidade de referenciais comparativos que descrevem conceitos alvo precisamente, e acima de tudo são dimensões para conhecer, falar e agir apresentados pelas estudantes em sua aprendizagem.</li> </ul>
(Monaguan & Clement, 1999)	Movimento relativo	AES	Determinar se simulações computacionais utilizando o método POE podem auxiliar o entendimento de movimento relativo.	-	201 alunos do ensino médio	Entrevistas clínicas; Pré-teste e pós-teste.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Foram detectadas dificuldades quantitativas e qualitativas com movimentos relativos aparentemente simples.</li> <li>• As atividades de simulação computacional ajudaram a desenvolver imagens mentais dinâmicas dos fenômenos estudados, de forma que</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
							<p>mesmo quando as simulações não estão mais presentes, estas imagens são invocadas para resolver problemas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Discrepâncias entre as previsões iniciais dos alunos e os resultados fornecidos pelas simulações, iniciam a construção de novas formas de pensar sobre movimento relativo, e a memória de certas simulações atua como um “referencial de visualização” para a resolução de problemas após a intervenção.</li> </ul>
(Tao & Gunstone, 1999)	Força e movimento	AES	Investigar a natureza e o processo da mudança conceitual, em um estudo com alunos do ensino médio que passaram por atividades envolvendo o uso de simulações computacionais.	Mudança conceitual.	12 alunos do ensino médio.	Pré-teste, pós-teste e pós-testes com atraso; 46 tarefas POE.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O aprendizado está relacionado ao contexto. Existe a necessidade de fornecer uma vasta gama de experiências de aprendizagem em diferentes contextos para melhorar a aprendizagem, e também várias experiências dentro de um contexto específico para maximizar a chance dos estudantes enfrentarem conflitos conceituais nele.</li> <li>• Para que uma mudança conceitual estável e</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
							independente do contexto possa ser atingida, o estudante precisa aceitar a generalidade das concepções científicas, que elas são aplicáveis a um grande número de situações. Para que isso seja alcançado, o estudante precisa aprender a apreciar a generalidade destas concepções.
(Barab et al., 2000)	Movimento planetário.	AEM; AE	Avaliar o impacto de atividades computacionais no aprendizado de alunos que constroem seus próprios modelos computacionais em 3D.	Construtivismo (Vygotsky)	37 alunos do ensino superior	Gravações em videoteipe; notas de campo; entrevistas semi-estruturadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Em geral, os resultados mostram que a modelagem 3D pode ser usada efetivamente em cursos universitários regulares, como uma ferramenta através da qual o estudante pode desenvolver um bom entendimento sobre vários fenômenos astronômicos.</li> <li>O uso de atividades de modelagem 3D pode ser uma estratégia útil para o delineamento de cursos com embasamento teórico e empírico.</li> </ul>
(Ronen & Eliahu, 2000)	Circuitos elétricos.	AES	Avaliar o papel de simulações computacional como um recurso que auxilie os estudantes a	Construtivismo	9 alunos do ensino médio	Pré-teste e Pós-teste.	As simulações se mostraram uma fonte de retroalimentação construtiva, ajudando os estudantes a identificar e corrigir suas <i>misconceptions</i> , e superar suas dificuldades mais comuns em

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
			preencher o espaço entre a teoria e a realidade, no caso de circuitos elétricos.				relacionar a representação formal com a representação real de circuitos elétricos simples e vice-versa.
(Steinberg, 2000)	Movimento de projéteis com resistência do ar.	AES	Avaliar se simulações computacionais ajudam os estudantes a aprenderem ciências, comparando o desempenho de estudantes que passaram por tutoriais computadorizados com os que passaram ou não.	-	199 alunos do ensino superior.	Pré-teste e pós-teste.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não houve diferença significativa entre o desempenho dos alunos que usaram os tutoriais computadorizados daqueles que não usaram.</li> <li>• O computador desempenha um papel fundamental nas Ciências e engenharias hoje, e devemos continuar investigando como integrar o computador ao ensino de Física, buscando descobrir o que e como os estudantes aprendem.</li> </ul>
(Camiletti, 2001)	Oscilador Harmônico Simples (OHS)	AES; AEM; AE	Observar a interação e o desempenho dos alunos, durante a utilização do ambiente de modelagem computacional STELLA, em uma atividade envolvendo OHS.	-	4 duplas de alunos do ensino superior.	Registro dos modelos criados pelos alunos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A utilização do programa STELLA no processo de ensino-aprendizagem pode ser promissora na medida em que as atividades de modelagem sejam devidamente estruturadas, no sentido de levar o aluno ao seu domínio para, então, levá-lo ao desenvolvimento da atividade do conteúdo específico, em uma determinada área do</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
							conhecimento.
(Jimoyiannis & Komis, 2001)	Cinemática; Movimento de projéteis.	AES	Entender o papel de simulações computacionais no desenvolvimento de um entendimento funcional dos conceitos de velocidade e aceleração, no movimento de projéteis.	Modelos mentais	90 alunos do ensino médio.	Questionário com questões abertas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudantes que passaram por tarefas que envolviam simulações computacionais, obtiveram um desempenho melhor do que os estudantes que não passaram. As simulações mostraram-se úteis ao auxiliar os estudantes a superar suas limitações cognitivas e aplicarem efetivamente o conceito de velocidade instantânea e aceleração.</li> <li>• Os resultados indicam que simulações computacionais podem ser usadas de forma complementar ou alternativa a outras ferramentas instrucionais, na tentativa de facilitar o entendimento dos conceitos de velocidade e aceleração.</li> </ul>
(Camiletti & Ferracioli, 2002)	Osciladores (Sistema massa-mola).	AES; AEM; AE	Investigação sobre a integração de ambientes de modelagem computacional (WLinkIt) ao aprendizado exploratório de	-	6 duplas de alunos do ensino superior.	Registros feitos pelos alunos; modelos computacionais construídos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os estudantes conseguiram desenvolver de forma adequada um modelo semiquantitativo satisfatório e relacionar seu comportamento ao que era esperado por eles, explicando também o comportamento apresentado pelas variáveis.</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
			Física.				<ul style="list-style-type: none"> <li>• As dificuldades apresentadas pelos alunos estão relacionadas à delimitação do sistema a ser estudado e ao entendimento: (a) da influência de uma variável sobre outra; (b) de quem é o agente causal do sistema; (c) da função de uma ligação entre duas variáveis e (d) dos conceitos envolvidos.</li> <li>• Para o delineamento de pesquisas futuras envolvendo a integração de ambientes de modelagem computacional semiquantitativos nas salas de aula, faz-se necessário levar em conta as habilidades exigidas dos alunos e as dificuldades que estes apresentam.</li> </ul>
(Gobara et al., 2002)	Leis de Newton.	AES	Desenvolver e avaliar estratégias de uso do <i>software</i> educacional (Prometeus), baseado em simulações computacionais que adotam a estratégia de conflito cognitivo para tentar	Mudança conceitual (Posner)	55 alunos do ensino superior.	Pré-teste, teste intermediário e pós-teste; registros das atividades dos alunos no uso do programa; entrevistas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O uso do programa de forma independente da seqüência formal de ensino apresentada pelo professor, não foi suficiente para promover mudanças significativas nas concepções prévias dos alunos.</li> <li>• Os estudantes que passaram pela estratégia de ensino que intensificou as discussões,</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
			modificar as concepções espontâneas dos alunos.				<p>entre professor e aluno, das situações propostas pelo <i>software</i> e a motivação pelo assunto, foram os que tiveram melhor desempenho.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• As simulações computacionais podem aumentar a motivação pelo assunto trabalhado em aula.</li> </ul>
(Hsu, 2002)	Condensação e mudança de temperatura	AES	Investigar os efeitos de uma simulação computacional aliada à previsão climática em tempo real, com alunos universitários em termos de mudanças conceituais.	Mudança conceitual	177 alunos do ensino superior.	Pré-teste, pós-teste; entrevistas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre o grupo experimental e o grupo de controle.</li> <li>• Nas aulas que precedem as atividades com simulações computacionais, a simulação deve ser demonstrada e suas características explicadas, sem ser dito aos estudantes como completar as tarefas.</li> <li>• Após os estudantes terem trabalhado com as simulações, a discussão de estratégias e conjecturas realizadas devem ser feitas para facilitar o entendimento dos alunos.</li> </ul>
(Bakas & Mikropoulos,	Movimento planetário	AES	Desenvolver um ambiente virtual	Concepções alternativas	102 alunos do ensino médio.	Entrevistas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A maioria dos estudantes se entusiasmou em interagir com</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
2003)			auxiliar ao ensino dos movimentos planetários através de simulações 3D.				<p>o ambiente virtual e modificou suas concepções alternativas sobre o ciclo dia-noite e mudança das estações do ano.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não são necessários ambientes virtuais imersivos para a representação de espaços 3D.</li> <li>• As tecnologias educacionais devem ser aplicadas a partir de um referencial pedagógico, de forma que o <i>software</i> educacional envolva certos objetivos didáticos, integre cenários educacionais, metáforas com significado pedagógico e induza o aprendizado.</li> </ul>
(Zacharia, 2003)	Física em geral	AES	Investigar os efeitos do uso de simulações computacionais interativas, combinadas com o uso de experimentos de laboratório ( <i>inquiry-based</i> ), num curso de Física conceitualmente orientado com especial atenção às	<i>Theory of Reasoned Action</i>	13 professores do ensino superior	Entrevistas estruturadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os resultados confirmam que as crenças dos professores afetam suas atitudes, e estas atitudes então afetam suas intenções, e que suas atitudes em relação a Física se mostraram altamente positivas, após trabalharem com simulações computacionais e/ou com experiências de laboratório (<i>inquiry-based</i>).</li> </ul>

Referência	Conteúdo	Tipos de atividades	Objetivos	Referencial teórico educacional (explícito)	Amostra	Instru-mentos	Resultados/ Conclusões relevantes
			crenças e atitudes dos professores em relação à Física.				
(Cox, Belloni & Christian, 2004)	Força e movimento; Lei de Gauss; refração da luz	AES	Avaliar a combinação de duas ferramentas pedagógicas: animações computacionais e questões de ordenamento, através de um estudo de caso sobre a Lei de Gauss.	-	5 alunos do ensino superior.	Questões de ordenamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Questões de ordenamento animadas computacionalmente, em alguns casos fornecem vantagens, onde uma animação ajuda a clarificar um item da tarefa ou a visualização de um problema, permitindo ao professor dar uma ênfase maior no desenvolvimento conceitual do conteúdo.</li> </ul>
(Araujo, Veit & Moreira, 2005a)	Interpretação de gráficos da cinemática	AES; AE	Avaliar o desempenho de estudantes submetidos a atividades complementares (ao ensino convencional de cinemática), envolvendo simulação e modelagem computacionais.	Aprendizagem significativa ausubeliana	52 alunos do ensino superior	Pré e Pós-testes; Entrevistas semi-estruturadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Houve uma diferença estatisticamente significativa no desempenho dos alunos do grupo experimental em relação aos do grupo de controle.</li> <li>• Obtenção de indícios de que o uso das atividades de simulação e modelagem computacionais promovem uma motivação para aprender por parte dos estudantes.</li> </ul>

Tabela 2.6 – Distribuição do número de trabalhos de pesquisa ou propostas com avaliação empírica em função da área da Física, do nível de aplicação e do tipo geral de atividade.

Áreas da Física	Nível de ensino									Total
	Ensino superior			Ensino médio			Ensinos superior e médio			
	<i>Simul.</i>	<i>Model.</i>	<i>S&amp;M</i>	<i>Simul.</i>	<i>Model.</i>	<i>S&amp;M</i>	<i>Simul.</i>	<i>Model.</i>	<i>S&amp;M</i>	
Mecânica	6	2	3	11	1	-	1	-	-	24
Eletromagnetismo	3	-	-	1	1	-	-	-	-	5
Termodinâmica	1	1	-	1	1	-	-	-	-	4
Ótica	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Física Moderna	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Física em geral	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
<b>Total</b>	12	4	3	13	3	-	1	-	-	

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo apresentamos o referencial teórico utilizado na pesquisa, enfocando a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, a teoria sócio-interacionista de Vygotsky e o referencial de trabalho de Halloun para a modelagem esquemática.

#### 3.1 A TEORIA DE APRENDIZAGEM DE AUSUBEL

##### 3.1.1 *Aprendizagem significativa*

A teoria de aprendizagem de David Ausubel (Ausubel, Novak & Hanesian, 1980) tem como cerne a idéia da *aprendizagem significativa*, definida como um processo onde uma nova informação interage com algum aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Podemos dizer que uma aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação é assimilada através da interação com conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz (Ausubel, 2003). Estes conceitos foram denominados por Ausubel de *subsunçores*. Porém, a aprendizagem significativa não se restringe a influência direta dos subsunçores sobre elementos da nova informação. Devemos considerar também as modificações e o crescimento desses subsunçores devido à interação com o novo material, pois neste processo o subsunçor evolui tornando-se mais inclusivo e aumentando a sua capacidade de se relacionar com novas informações. Isto significa que os subsunçores podem apresentar grandes variações de um indivíduo para outro, podendo ser amplos e bem diferenciados ou limitados em quantidade e variedade de elementos, segundo as experiências de aprendizagem de cada pessoa.

Para Ausubel, as informações na mente humana estão dispostas de forma altamente organizada. Estas informações formam uma hierarquia conceitual onde os

elementos mais específicos de conhecimento são ligados e assimilados por conceitos 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).

### 3.1.2 *Aprendizagem Mecânica*

Ausubel define *aprendizagem mecânica* (ou automática) como aquela em que o indivíduo adquire uma nova informação com pouca ou nenhuma relação com os subsunçores existentes em sua estrutura cognitiva. Este conhecimento é armazenado de forma literal e arbitrária, não se ligando a subsunçores específicos, ou seja, com pouca ou nenhuma interação ocorrendo entre a nova informação adquirida e as informações já armazenadas na estrutura cognitiva do aprendiz. Apesar deste tipo de aprendizagem não ser desejada como resultado final de um processo educativo, ela se faz inicialmente necessária quando um indivíduo adquire informação numa área de conhecimento completamente nova para ele. Existem também alguns tipos de informação sem significado intrínseco, como registros de placas de carro, por exemplo, que não podem ser associados de forma substantiva a elementos existentes na estrutura cognitiva e assim devem ser arbitrariamente armazenados. Entretanto, pode-se argumentar que, talvez excetuando crianças pequenas, uma aprendizagem inteiramente mecânica nunca ocorra. Mesmo os registros das placas dos carros podem de alguma forma significar algo na estrutura cognitiva do aprendiz, ao observarmos, por exemplo, que a primeira letra dos registros (feitos no Brasil) está associada com o estado onde o carro foi originalmente emplacado (e.g. "I" Rio Grande do Sul, "C" São Paulo, "J" Brasília, "K" Rio de Janeiro). Sabendo disso, a aprendizagem mecânica pode ser reduzida aos outros seis, dos sete caracteres alfanuméricos que compõem o registro.

Apesar de a aprendizagem mecânica contrapor-se à aprendizagem significativa, é importante destacar que Ausubel não apresenta os dois tipos de aprendizagem como dicotômicos e sim como situados em extremos de um contínuo, isto é, existem diferentes níveis de aprendizagem significativa e mecânica.

### 3.1.3 Subsunçores

Visto a importância dos subsunçores na desejada aprendizagem significativa, se fazem pertinentes as seguintes perguntas: O que fazer quando estes não existem? Como os primeiros subsunçores são formados? Uma possível resposta para estas perguntas é que em uma área do conhecimento totalmente nova para o indivíduo, a aprendizagem será, como já foi dito antes, inicialmente mecânica. A aprendizagem significativa não ocorrerá até que alguns elementos de conhecimento, relevantes a novas informações na mesma área, existam na estrutura cognitiva e possam servir de subsunçores ainda que pouco elaborados. Na medida em que a aprendizagem começa a ser significativa, os subsunçores vão tornando-se cada vez mais elaborados e o indivíduo mais capaz de assimilar novas informações.

Moreira (op. cit.) apresenta outra possível resposta para as perguntas acima, evocando o caso de crianças pequenas, onde os primeiros conceitos são adquiridos em um processo chamado *formação de conceitos*, o qual envolve generalizações de instâncias específicas. Porém, quando as crianças atingem a idade escolar a maioria já possui um conjunto adequado de conceitos que permite a ocorrência da aprendizagem significativa através de outros processos. A partir daí, apenas ocasionalmente haverá ainda a formação de conceitos; a maioria dos novos conceitos é adquirida através de *assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa (ou integradora)*.

### *3.1.4 Organizadores prévios*

Para Ausubel, do ponto de vista instrucional, é extremamente recomendável o uso de *organizadores prévios* como veículos facilitadores da aprendizagem significativa, quando não existem na estrutura cognitiva os subsunçores adequados. Os organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados em nível mais alto de abstração, inclusividade e generalidade antes do material a ser aprendido em si. O aspecto mais significativo do processo de assimilação de conceitos é o relacionamento, de forma substantiva e não-arbitrária, a idéias relevantes estabelecidas na estrutura cognitiva do aprendiz com o conteúdo potencialmente significativo implícito nas novas informações. Os organizadores prévios funcionam como “pontes cognitivas” neste processo.

### *3.1.5 Condições para a Aprendizagem Significativa*

Ausubel propõe duas condições básicas complementares para que ocorra a aprendizagem significativa:

- As informações a serem assimiladas devem ser potencialmente significativas para o aprendiz, ou seja, ele 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.
- O aprendiz deve manifestar uma disposição para relacionar o novo material, de forma substantiva e não-arbitrária, à sua estrutura cognitiva.

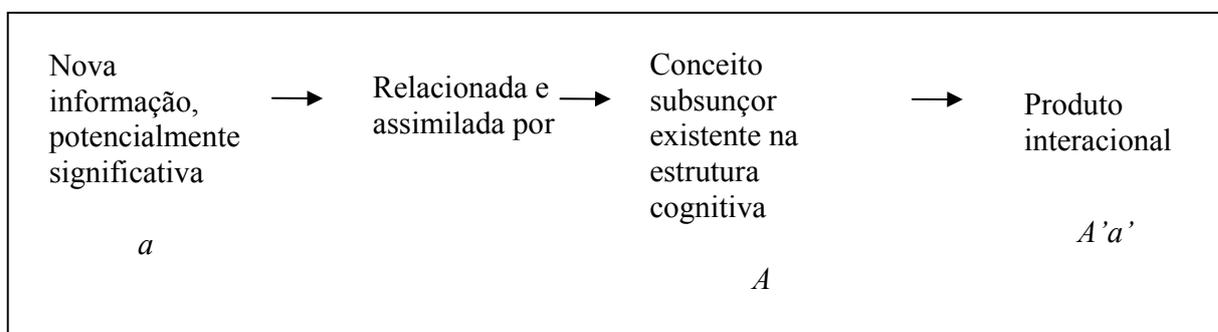
Em outras palavras, mesmo que uma informação seja potencialmente significativa, se o aprendiz não se dispuser a aprendê-la, a aprendizagem só poderá

ser mecânica. Da mesma forma, se o material não é potencialmente significativo, tanto o processo como o resultado não serão significativos.

Ausubel (2003) salienta que para avaliarmos a ocorrência de uma aprendizagem significativa, devemos buscar evidências que o aprendiz está compreendendo genuinamente um conceito, ou seja, que ele está atribuindo a ele significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Entretanto, o estudante após uma longa experiência em fazer exames pode se habituar a memorizar não somente proposições e fórmulas, mas também causas, exemplos, explicações e formas de resolver "problemas exemplares". Deste modo, Ausubel propõe que a melhor maneira de evitar a "simulação de aprendizagem significativa" é utilizar questões e problemas que sejam novos e não familiares ao estudante, e que requeiram máxima transformação do conhecimento existente.

### 3.1.6 Assimilação

No processo de aprendizagem significativa, a nova informação interage com os subsunçores relevantes na estrutura cognitiva, gerando uma associação entre a nova informação recebida e conhecimentos já adquiridos. Quando isto ocorre, os subsunçores se tornam ligeiramente diferentes e a informação armazenada é também alterada. Moreira (2000) descreve o princípio da assimilação esquematicamente da seguinte forma:



Deste modo, a assimilação ocorre quando uma nova informação  $a$  (conceito ou proposição), potencialmente significativa, é assimilada sob uma idéia ou conceito mais inclusivo já existente na estrutura cognitiva. Como é mostrado no diagrama, não só a nova informação  $a$ , mas também o conceito subsunçor  $A$ , com o qual ela se relaciona, são modificados pela interação, ou seja, as próprias idéias ancoradoras também se alteram de forma variável no processo interativo. Além disso,  $a'$  e  $A'$  permanecem relacionados como co-participantes de uma nova unidade  $A'a'$  que é essencialmente o subsunçor modificado.

Ausubel (2003, p.105) apresenta o seguinte exemplo: se  $A$  for o conceito de pecado cristão existente na estrutura cognitiva de uma criança,  $a$  pode ser a apresentação de conceitos budistas de pecado, alterando, assim, ligeiramente o conceito que a criança tem de pecado cristão ( $A'$ ), além de introduzir um novo significado idiossincrático para o pecado budista ( $a'$ ).

Uma vez que a ligação  $A'a'$  tenha se estabelecido, ela fará parte do processo de *retenção* do novo conhecimento. Ausubel admite que, para que as novas informações recém assimiladas permaneçam disponíveis durante este processo, elas possam ser dissociáveis, por um período de tempo variável, de suas idéias-âncora e, assim, reproduzíveis como entidades individuais (Moreira, 2000):

$$A'a' \leftrightarrow A'+a'$$

O produto interacional  $A'a'$ , durante um período de tempo, pode ser dissociado em  $A'$  e  $a'$ , favorecendo assim a retenção de  $a'$ . Entretanto, após algum tempo, uma reprodução individual dos elementos associados não é mais possível, ocorrendo o que Ausubel chama de *assimilação obliteradora*, onde  $A'a'$  reduz-se simplesmente a  $A'$  (subsunçor modificado). O esquecimento é, desta forma, uma continuação temporal do processo de assimilação, estando diretamente relacionado

com a impossibilidade de dissociar a nova informação da idéia geral mais inclusiva ancorada na estrutura cognitiva do indivíduo.

Moreira & Masini (1982) apontam que na teoria de Ausubel, a variação na taxa de esquecimento depende particularmente do grau de significância associado com o processo de aprendizagem. A menos que os materiais aprendidos mecanicamente sejam repetidamente reestudados, eles não poderão ser lembrados horas ou semanas após a aprendizagem. Entretanto, a informação aprendida significativamente, mesmo tendo ocorrido o processo de assimilação obliteradora, pode ser recuperada após algumas tentativas. Cabe salientar que esta informação pode aparecer de uma forma ligeiramente diferente daquela como foi originalmente aprendida e, com o tempo, tomar atributos mais gerais do conceito subsunçor pelo qual foi assimilada.

De modo resumido, podemos dizer que o processo de aprendizagem está relacionado à aquisição de novos significados, representando um aumento na disponibilidade dos mesmos. Retenção por sua vez representa o processo de manter disponíveis os novos significados adquiridos e o esquecimento representa um decréscimo nesta disponibilidade.

### *3.1.7 Diferenciação progressiva, reconciliação integradora e consolidação*

No processo de aprendizagem significativa, a partir de sucessivas interações, conceitos são desenvolvidos, elaborados e diferenciados entre si. Sob a perspectiva ausubeliana, o desenvolvimento de conceitos é facilitado quando os elementos mais gerais, mais inclusivos de um conceito são introduzidos em primeiro lugar e depois este é progressivamente diferenciado em termos de detalhe e especificidade.

Para Ausubel (2003, p.166) quando o conteúdo de uma disciplina é programado de acordo com o princípio da diferenciação progressiva, apresentam-se, inicialmente, as idéias mais gerais e inclusivas da disciplina e depois estas são progressivamente diferenciadas em termos de detalhe e especificidade. Esta ordem de apresentação do conteúdo corresponde, presumivelmente, à seqüência natural de aquisição de consciência cognitiva e de sofisticação, quando somos expostos a determinados conhecimentos. Ausubel se baseia em duas hipóteses em sua proposta:

- é mais fácil para os seres humanos captar aspectos diferenciados de um todo, anteriormente apreendido e mais inclusivo, do que chegar ao todo a partir de suas partes diferenciadas;
- a organização do conteúdo de uma determinada disciplina na mente de um indivíduo é uma estrutura hierárquica na qual as idéias mais inclusivas estão no topo da estrutura e progressivamente incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados.

De forma mais explícita, podemos dizer que as novas idéias e informações são aprendidas, e retidas mais eficazmente, quando já estão disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo idéias mais inclusivas e especificamente relevantes, para servir como subsunçores, sendo esta a função dos organizadores prévios em relação a qualquer tópico ou subtópico, quando os subsunçores não existem ou quando existem e o aprendiz não percebe sua relacionabilidade com o novo material.

O princípio da reconciliação integradora aplicado à organização de material instrucional, segundo Ausubel (ibid, p.168) , pode ser descrito como um contraponto à prática usual dos livros-texto de separar idéias e tópicos em capítulos e seções. Tem como objetivo explorar explicitamente relações entre proposições e conceitos,

salientando as diferenças e similaridades importantes, e reconciliando inconsistências reais ou aparentes.

Novak (1977) argumenta que para atingirmos a reconciliação integradora eficazmente, devemos organizar a instrução “descendo e subindo” nas estruturas conceituais hierárquicas conforme a nova informação é apresentada. Devemos começar com os conceitos mais gerais (mais inclusivos), ilustrando logo a seguir como os conceitos mais subordinados estão relacionados a eles e então voltar, através de exemplos, a novos significados para conceitos de ordem mais alta.

### 3.2 A TEORIA DA MEDIAÇÃO DE VYGOTSKY

Nesta seção pretendemos ancorar a área da modelagem computacional aplicada ao ensino de Física em outro referencial, isto é, na idéia proposta por Vygotsky (2003) de que “a linguagem molda o pensamento”. Assim, os modelos representados através das ferramentas computacionais seriam modos de expressão que moldariam o pensamento do aluno, refletindo também os seus pensamentos.

#### *3.2.1 Interação social*

Embora essa obra de Vygotsky tenha como tema central a relação entre pensamento e linguagem, podemos vislumbrar nela uma teoria bem-fundamentada do desenvolvimento intelectual. Na introdução desse 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. Um instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa; um signo é algo que significa alguma outra coisa. Existem três tipos de signos: indicadores (e.g. fumaça indica fogo); icônicos (e.g., o ícone de uma

impressora no sistema operacional de um computador, indicando o dispositivo físico); e simbólicos (e.g., o símbolo  $\infty$  significando infinito) (Moreira, 1999). Estes instrumentos e signos são o que permitem ao homem transformar e conhecer o mundo, comunicar suas experiências e desenvolver novas funções psicológicas (Pino Sigardo, 2000). A conversão no indivíduo das relações sociais em funções psicológicas é feita através da mediação humana e semiótica na qual a linguagem desempenha um papel fundamental, ou seja, esta conversão não é direta, mas sim mediada através de instrumentos e signos. *É através da mediação que se dá a internalização (reconstrução interna de uma operação externa) de atividades e comportamentos sócio-históricos e culturais e isso é típico do domínio humano* (Garton<sup>13</sup> apud Moreira, 1999, p.110).

O verdadeiro curso do desenvolvimento do pensamento, conforme Vygotsky (ibid), não vai do individual para o socializado, mas do social para o individual. Em outras palavras, não podemos desprezar o contexto social, histórico e cultural no qual o indivíduo está imerso ao analisarmos seu desenvolvimento cognitivo. Não se trata apenas de considerar o meio social como uma variável importante, mas ter em mente que não é através do desenvolvimento cognitivo que o indivíduo se torna capaz de socializar, é na socialização que se dá o desenvolvimento dos processos mentais superiores (Driscoll, 1995 apud Moreira, 1999).

Em relação ao processo de ensino-aprendizagem em ambiente escolar, é desejável, sob a perspectiva vygotskyana, que se oportunize ao aluno situações em que ele possa interagir socialmente com o professor e com os colegas de modo que ele possa desenvolver suas habilidades cognitivas e aprender o que buscamos ensinar. Como argumentado por Moreira (1999), o professor neste contexto, é o

---

<sup>13</sup> GARTON, A. F. **Social interaction and the development of language and cognition**. Hillsdale, U.S.A.: Lawrence Erlbaum, 1992.

participante que possui internalizado os significados socialmente compartilhados (pela comunidade científica, por exemplo) em relação aos conteúdos pertencentes ao currículo. No contexto de matéria de ensino o professor apresenta aos alunos, de alguma maneira, os significados socialmente aceitos, tendo o papel de mediá-los e verificar se o significado que o aluno captou é coerente com aquele que ele desejava que captasse. A responsabilidade do aluno neste caso é interagir com o professor de modo a verificar se os conceitos que captou são aqueles que o professor gostaria que ele captasse e se são aqueles compartilhados no contexto da área de conhecimentos em questão. O processo de ensino-aprendizado se efetiva, então, quando professor e aluno compartilham significados.

### *3.2.2 Zonas de desenvolvimento real e proximal*

Ainda no contexto das implicações educacionais da interação social na escola, Vygotsky argumenta que as diferenças entre o aprendizado pré-escolar e o escolar no desenvolvimento mental dos alunos, vai além do fato do primeiro ser um aprendizado não sistematizado e o último sistematizado, há também a questão do aprendizado escolar produzir algo fundamentalmente novo no desenvolvimento cognitivo do aluno. Para explicar este “algo novo” Vygotsky lança mão do conceito de zona de desenvolvimento real e a zona de desenvolvimento proximal. A primeira zona está relacionada com o nível de desenvolvimento das funções mentais do aluno já estabelecidas, como resultado de certos ciclos já concluídos estando intimamente correlacionado com aquilo que os alunos conseguem fazer por si mesmos. Este indicativo foi por muito tempo utilizado como fator decisório da capacidade mental dos indivíduos. Entretanto, do ponto de vista de Vygotsky, tão importante quanto aquilo que o aluno é capaz de fazer por si só é aquilo que ele consegue fazer através da interação social com o professor ou com colegas mais capazes. Aquelas tarefas que o aluno só consegue realizar após ser fornecido algum tipo de ajuda estão no

que Vygotsky chamou de zona de desenvolvimento proximal. As atividades desenvolvidas nesta zona têm um caráter eminentemente social.

A zona de desenvolvimento proximal engloba as funções mentais ainda em processo de maturação, sendo uma medida do potencial de aprendizagem do indivíduo e onde o desenvolvimento cognitivo ocorre. A consideração dos efeitos da consideração da zona de desenvolvimento proximal no processo de ensino-aprendizagem é definido por Moreira (1999) da seguinte forma:

*A interação social que provoca a aprendizagem deve ocorrer dentro da zona de desenvolvimento proximal, mas, ao mesmo tempo, tem um papel importante na determinação dos limites dessa zona. O limite inferior é, por definição, fixado pelo nível real de desenvolvimento do aprendiz. O superior é determinado por processos instrucionais que podem ocorrer no brincar, no ensino formal ou informal, no trabalho. Independentemente do contexto o importante é a interação social (Driscoll<sup>14</sup> apud Moreira, 1999 pp.116-117).*

Para Vygotsky o único ensino que vale a pena é aquele que se adianta ao desenvolvimento cognitivo e o dirige e, de forma análoga, a única boa aprendizagem é aquela que está avançada em relação ao desenvolvimento, ou seja, uma aprendizagem orientada para níveis de desenvolvimentos já alcançados não é efetiva (Moreira, 1999).

### 3.2.3 Externalização do pensamento

Santos et al. (2002) argumentam que a equação “pensamento igual à linguagem” super-simplifica um difícil problema. Nós não temos simplesmente pensamentos prévios que então expressamos através da linguagem. Nem sempre temos que falar para descobrir o que pensamos. No entanto, Vygotsky (2003) fornece uma explicação mais sutil sobre a transição de pensamento para fala:

---

<sup>14</sup> DRISCOLL, M. P. **Psychology of learning and instruction**. Boston, U.S.A.: Allyn and Bacon, 1995.

*A relação de pensamento com palavra não é uma coisa, mas um processo, um movimento contínuo para trás e para frente de pensamento para palavra e de palavra para pensamento (...) Cada pensamento tende a conectar algo com alguma coisa e estabelecer uma relação entre as coisas. Cada pensamento move-se, cresce e desenvolve, satisfazendo uma função, resolvendo um problema. Esse fluxo de pensamento ocorre como um movimento interno através de uma série de planos.*

Vygotsky argumenta que seria um erro pensar que exista somente um caminho do pensamento para a fala. O desenvolvimento poderia parar em qualquer ponto de seu complicado curso: “é possível uma variedade infinita de movimentos ‘para’ e ‘de’, de modos ainda desconhecidos para nós”. Ele descreve esse movimento como indo, “do motivo que engendra um pensamento para dar forma ao pensamento”, primeiro na fala interna e então no significado das palavras e finalmente em palavras. Cada um desses planos difere dos outros e tem suas próprias características.

Muito do pensamento ocorre sem estarmos conscientes de que está acontecendo. Em geral, em qualquer atividade dada, misturamos ferramentas mentais tácitas de pensamento com conhecimento consciente ou tácito sobre o mundo. A externalização de nossos pensamentos através de ações e fala pode nos ajudar a dar forma a nossos pensamentos. O pensamento, segundo Vygotsky, não é meramente expresso através de palavras: ele vem para a existência através delas. Uma idéia pode ser facilmente esquecida se não for escrita. Ação e fala podem acontecer imediatamente, sem tempo para reflexão, deliberação ou escolha. Linguagem escrita, desenho, pintura, notação musical, etc., são todos modos clássicos de externalizar o pensamento. Todos têm algum grau de permanência, assim tornando-se disponíveis para serem refletidos e estudados. Podemos então mais facilmente pensar sobre nossos pensamentos.

A tecnologia moderna, indo além das tecnologias do papel, lápis, tinta e pintura, tem 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 simulação e modelagem computacionais, através da construção e exploração de modelos matemáticos ou icônicos que representam modelos físicos, pretende-se, pelo menos de algum modo específico, auxiliar os estudantes a pensar, permitindo a externalização de suas idéias e, mais importante, atuar sobre estas.

### 3.3 MODELAGEM ESQUEMÁTICA

Modelagem esquemática é uma teoria de desenvolvimento epistemológico baseada na pesquisa cognitiva. Nela admite-se que modelos são os componentes majoritários do conhecimento de qualquer pessoa, e que modelagem é um processo cognitivo para construir e empregar o conhecimento no mundo real. Halloun (1996) estabelece três dos mais fundamentais princípios para a modelagem esquemática:

- I) “Nós construímos modelos mentais que representam aspectos significantes de nosso mundo físico e social, e manipulamos elementos destes modelos quando pensamos, planejamos e tentamos explicar os eventos deste mundo” (Bower & Morrow *apud op. cit.*) .
- II) “Nossa visão de mundo tem dependência causal da forma como o mundo está e de como nós estamos” (Johnson-Laird *apud* Halloun, 1996).
- III) *Modelos mentais* estão dentro das mentes das pessoas. Eles são *tácitos*, e não podem ser explorados diretamente. Entretanto, eles podem ser explorados via *modelos conceituais* que são os modelos utilizados por uma pessoa para comunicar-se com outras verbalmente, simbolicamente ou de

forma pictórica (e/ou via *modelos físicos*, definidos como artefatos materiais). Modelos conceituais utilizados na nossa comunicação no dia-a-dia são freqüentemente subjetivos, idiossincráticos e não coerentemente estruturados. Com instrução apropriada estes modelos podem tornar-se relativamente objetivos e coerentemente estruturados (Gentner e Stevens; Giere; Hestenes; Nersessian; Redish; *apud* Halloun, 1996) .

Halloun (op. cit.) argumenta que quando os cientistas se propõem a estudar um sistema físico, eles concentram-se em um número limitado de características deste sistema, construindo a partir disso um *modelo conceitual*<sup>15</sup> (um modelo matemático, por exemplo) e/ou um *modelo físico* (como um artefato material). Eles analisam o modelo construído e fazem inferências sobre o sistema físico que este representa. O processo inteiro é habitualmente guiado por alguma teoria física.

Ainda segundo Halloun, modelos científicos são *esquemáticos* no sentido de que como outros esquemas científicos (conceitos, leis e outras estruturas compartilhadas pelos cientistas) eles: (a) utilizam um número limitado de características básicas, quase independentes das idiossincrasias individuais dos cientistas, e (b) são desenvolvidos e aplicados seguindo esquemas genéricos de modelagem. O conhecimento necessário para que alguém compreenda realmente um modelo conceitual científico, pode ser caracterizado em quatro dimensões definidas por Halloun como:

---

<sup>3</sup> Estes modelos são também chamados por Halloun de modelos conceituais científicos, distinguindo-os dos modelos comumente usados pelas pessoas. Estes modelos conceituais científicos não são formados espontaneamente pelos cientistas, mas sim fruto de um longo treinamento, sobretudo na pós-graduação.

### i) Domínio

O domínio de um modelo consiste em um conjunto de sistemas físicos (referências do modelo) que compartilham uma estrutura comum e/ou características comportamentais que o modelo pode ajudar a *descrever*, *explicar* e/ou *predizer* em alguns aspectos e com certo grau de precisão. O modelo pode, também, permitir o controle das referências usadas e o delineamento de novas a partir de seus resultados.

### ii) Composição

Durante a modelagem de uma situação física os cientistas tendem a agrupar os objetos envolvidos dentro de sistemas finitos. Cada sistema pode incluir uma ou mais entidades que exibem propriedades específicas de interesse e que interagem umas com as outras. Entidades físicas dentro e fora do sistema podem ser representadas no modelo correspondente por *entidades conceituais* que pertencem ao *conteúdo* e ao *ambiente* do modelo respectivamente, sendo caracterizadas por *descritores* apropriados. Conteúdo e ambiente e seus respectivos objetos e agentes, formam a *composição* de um modelo. Um descritor é uma propriedade conceitual (uma variável em um modelo matemático, por exemplo) que representa uma propriedade específica das entidades dentro ou fora do modelo. Podemos ter os seguintes tipos de descritores:

- a) *Descritor de objeto*: dividido em duas categorias; *descritor intrínseco* (parâmetro), representando uma propriedade física que é admitida como constante (massa de um corpo, por exemplo); ou *descritor de estado* (variável), representando uma propriedade física que pode variar com o tempo (posição e energia cinética de um corpo, por exemplo).

b) *Descritor de interação*: definido como uma característica mútua compartilhada por um objeto e um agente em um modelo. Ele representa a interação física entre uma entidade dentro das referências do modelo e outra fora (força e energia potencial, por exemplo).

Halloun faz questão de ressaltar que um modelo não é isomórfico em relação às suas referências, ou seja, nem todas as entidades de um sistema físico precisam estar presentes no modelo que o representa. Entretanto, cada objeto em um modelo deve corresponder a no mínimo uma entidade dentro da sua referência, e cada agente, a no mínimo uma entidade fora. Similarmente, cada descritor deve corresponder a uma propriedade física específica do seu sistema físico de referência.

### iii) Estrutura

A estrutura de um modelo é constituída pelas relações existentes entre os descritores que representam propriedades físicas da referência do modelo. Três tipos de estruturas são englobadas pelas relações: *geométrica*, relacionada com a configuração espacial dos objetos e agentes; *interativa*, vinculada a relacionamentos atemporais expressos em leis de interação entre um descritor de objeto e um descritor de interação (Lei de Newton da gravitação universal, por exemplo) e *comportamental*, referindo-se aos relacionamentos espaço-temporais que descrevem ou explicam o comportamento de objetos individuais do conteúdo de um modelo em determinadas condições específicas. Estes relacionamentos são expressos em dois tipos de leis: *leis de estado* e *leis causais*.

As leis de estado expressam o relacionamento entre as propriedades de um determinado objeto e também descrevem a mudança de estado do mesmo (e.g. equações de movimento). Leis causais expressam o relacionamento entre uma propriedade de interação e uma propriedade de estado de um objeto e explicam a sua

mudança de estado (leis de Newton da Dinâmica e as leis de conservação, por exemplo).

#### iv) Organização

Modelos pertencentes à mesma categoria podem ser classificados em grupos e subgrupos (ou famílias) de modelos seguindo critérios convenientes. Cada grupo inclui uma família especial de modelos chamados *modelos básicos*. Um modelo básico quase sempre é um modelo simples, mas abrangente, que descreve e explica um fenômeno físico elementar. Estes modelos são partes indispensáveis para um aprendizado significativo de conceitos individuais e princípios de uma dada teoria científica, bem como para o desenvolvimento de modelos mais complexos. Além do critério de classificação, cada teoria contém *leis de organização* e *regras* que especificam: como os modelos dentro de uma dada família se relacionam entre si e com modelos de outras famílias; e, conseqüentemente, como combinar diferentes modelos para o estudo de situações físicas que estão fora do escopo do domínio de compreensão dos modelos disponíveis.

#### 3.3.1 O Processo de Modelagem Esquemática

A Figura 3.1 mostra um processo genérico de modelagem esquemática que pode ser sistematicamente aplicado no contexto de uma teoria conveniente para a construção de novos modelos, refinando-os e/ou empregando-os em situações específicas (experimentos de laboratório, problemas do tipo “livro-texto”, etc.) (Hestenes *apud* Halloun, 1996) .

O primeiro passo no processo de modelagem esquemática consiste em identificar e descrever a composição de cada sistema físico em questão e o respectivo fenômeno. Em paralelo a isto devemos identificar, também, o *propósito*

(conjunto de objetivos em um livro-texto, por exemplo) e a *validade* das saídas esperadas (incluindo a precisão dos resultados). Seguindo estes passos, importantes para a escolha da teoria apropriada no contexto que a modelagem deve seguir, selecionamos um modelo apropriado e então o construímos. O modelo é então processado e analisado, enquanto é continuamente validado. Seguindo esta análise, conclusões apropriadas são inferidas sobre o sistema em questão e as saídas são *justificadas* em função do propósito da modelagem e da validade requerida (Halloun; Hestenes; apud op. cit.).

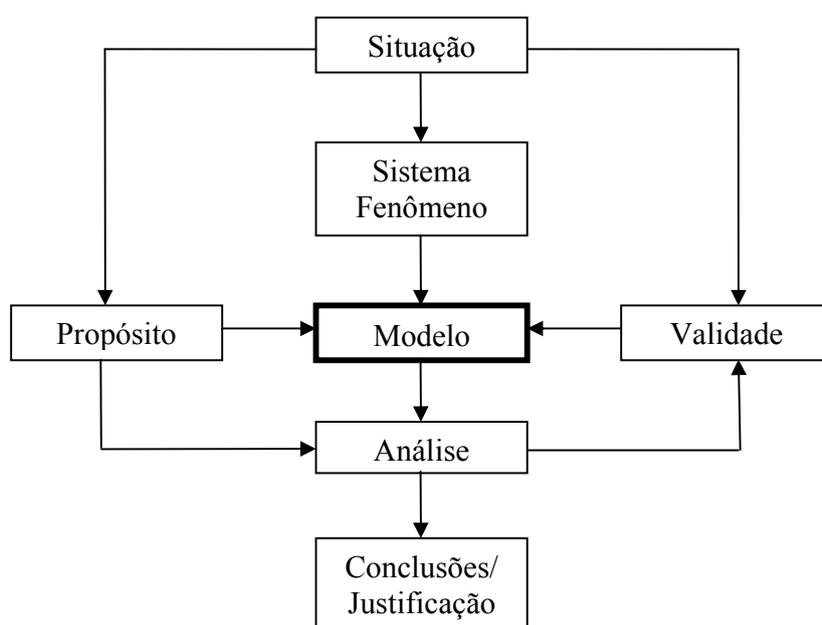


Figura 3.1 - Representação esquemática do processo de modelagem (Hestenes *apud* Halloun, 1996).

### 3.3.2 Modelagem Esquemática para a Resolução de Problemas de Paradigma

Halloun denomina como problemas de paradigma os problemas que abrangem características especiais evitando a aplicação direta de fórmulas numéricas e incluindo questões abertas que permitem que os estudantes reflitam sobre suas próprias concepções sobre os sistemas físicos.

A resolução desse tipo de problema ocorre em cinco estágios: seleção, construção, validação, análise e expansão. O processo é não-hierárquico. Os três estágios do meio sobrepõem-se, e alguns desses passos podem ser conduzidos ao mesmo tempo. Em cada estágio, o modelador pergunta a si mesmo questões específicas e tenta respondê-las sistematicamente. Cada um dos cinco estágios será discutido a seguir.

#### i) Seleção do modelo

A solução de problemas de um livro-texto, freqüentemente envolve modelos básicos e/ou modelos emergentes que são combinações destes modelos básicos, visto que o processo de modelagem sempre começa com a seleção de modelos apropriados, de um repertório de modelos familiares em uma teoria específica. A seleção é guiada pelo domínio de cada modelo e governada pelo propósito da modelagem e da validade requerida.

#### ii) Construção do modelo

Neste estágio, o modelador procura construir modelos matemáticos que ajudam a resolver o problema. Eles constroem, ou reproduzem a composição e a estrutura de cada modelo selecionado.

#### iii) Validação do modelo

Este estágio pode ser concomitante à construção do modelo, considerando essencialmente a consistência interna do modelo, com perguntas do tipo: quão bem cada representação matemática corresponde ao seu equivalente no sistema físico de referência? As condições de contorno são satisfeitas?

#### iv) Análise do modelo

Uma vez que o modelo tenha sido validado, a análise pode ser feita no sentido de verificar se todos os propósitos estão sendo contemplados com o modelo que está sendo construído. A análise do modelo na resolução de problemas do tipo livro-texto consiste primeiramente no processamento do modelo matemático, obtendo as respostas para as questões levantadas no problema e a interpretação e justificativa para as respostas.

#### v) Expansão do modelo

Uma vez que o modelo foi analisado e completamente validado, algumas implicações podem ser inferidas em relação ao propósito original, bem como a outros propósitos de validação. Isto ajuda o modelador a desenvolver suas habilidades de transferência. A expansão de modelos inclui:

- uso de um dado modelo para descrever, explicar e/ou prever novas situações físicas pertencentes ao sistema em estudo;
- inferir implicações para outros sistemas físicos de referência do modelo;
- extrapolar o modelo para a construção de outros novos modelos.

A expansão de modelos também inclui atividades reflexivas, onde o modelador examina e aprimora seu conhecimento em termos de sua experiência de modelagem.

#### *3.3.3 Exemplo de Aplicação da Modelagem Esquemática*

Halloun (1996) exemplifica o processo de modelagem computacional para a descrição do movimento de um corpo arremessado, próximo à superfície da Terra.

Este problema pode ser tratado, por simplicidade, como um movimento de queda livre de uma partícula pontual, ou seja, uma partícula sem estrutura, sob ação de uma força gravitacional constante, desprezando-se os efeitos da resistência do ar e o movimento de rotação do corpo. Este é um modelo adotado porque é uma representação simplificada do sistema, que mantém apenas as suas características essenciais, cuja validade é bastante aceitável em muitas situações; porém, é o modelo mais simples aplicável, portanto terá validade mais restrita. Quais suas limitações? Como estendê-lo? Estas são questões intrínsecas à compreensão do modelo.

### *Domínio*

Caso não se esteja interessado nas forças atuantes, o domínio do modelo se restringe aos aspectos cinemáticos, caso contrário, inclui os aspectos dinâmicos. Dado um sistema de referência inercial, caso se despreze a resistência do ar, estamos tratando de movimentos de translação com aceleração constante. Caso se considere a resistência do ar, a aceleração passa a ser variável. O domínio depende, pois, das características que pretendemos descrever e do grau de aproximação que desejamos.

### *Composição*

Neste modelo só há um *objeto* no sistema: a partícula. O *conteúdo* consiste apenas de uma partícula. (Em um modelo de gás ideal muitas seriam as partículas). A *vizinhança* inclui a Terra (considerada um *agente*), que interage com a partícula através da força gravitacional. (A vizinhança também inclui o ar, caso se considere o seu efeito.) Os descritores que caracterizam a partícula são sua massa, posição, velocidade e aceleração. O descritor da interação gravitacional é a aceleração gravitacional,  $g$ . (Caso se considere a resistência do ar, seu efeito é tomado proporcional a alguma potência do módulo da velocidade).

## *Estrutura*

No domínio cinemático, a estrutura é dada pelas equações do movimento (leis de estado). No domínio dinâmico, as leis de Newton constituem a estrutura do modelo.

## *Organização*

Na Mecânica os modelos são classificados em dois grandes grupos: modelos de partículas, em que a dimensão e estrutura dos corpos são desprezadas, e modelos de corpos rígidos, em que as dimensões e estrutura são consideradas, porém os corpos são tratados como indeformáveis. Exemplos de diferentes modelos dentro destas categorias são apontados a seguir.

Apresentamos agora os cinco estágios do processo de modelagem esquemática.

### *a) Seleção*

É preciso optar por algum dos modelos conhecidos, por exemplo:

- *partícula livre*: os referentes são objetos físicos<sup>16</sup> que se movem sob ação de força resultante nula em movimento de translação cuja trajetória é linear;
- *partícula com aceleração constante*: os referentes são objetos físicos sob ação de força resultante constante cuja trajetória é linear ou parabólica;
- *partícula com aceleração variável*: os referentes são objetos físicos sob ação de força resultante variável, cuja trajetória não pode ser conhecida *a priori*;

---

<sup>16</sup> Objetos do mundo real.

- *corpo rígido em rotação livre*: os referentes são objetos sujeitos a torque líquido nulo, em relação a um determinado eixo, que giram com velocidade angular constante em torno deste eixo;

*Perguntas pertinentes na seleção do modelo:*

- Que sistemas físicos estão sendo descritos pelo problema (ou situação)?
- Que objetos compõem cada sistema?
- Que objetos de fora do sistema (da vizinhança) interagem com objetos dentro do sistema?
- Que tipo de movimento cada sistema realiza?
- Translação? Rotação? De que tipo?
- Em que sistema de referência?
- Que modelo é mais apropriado para modelar cada sistema físico?

### ***b) Construção***

*Perguntas e sugestões pertinentes na construção do modelo:*

- Que sistema de coordenadas facilita a solução do problema?
- Que parâmetros (descritores) são necessários para cada objeto (massa, momento de inércia,...)?
- Que leis cinemáticas são requeridas?
- Que agentes externos atuam sobre cada objeto? Quais as forças que exercem?
- Representar as forças em um diagrama de forças.
- Construir um mapa conceitual que auxilie a construção do modelo.

- Há vínculos cinemáticos ou dinâmicos? Condições iniciais? Expressá-las matematicamente.

### ***c) Validação e análise do modelo***

#### *Correspondência com o desejado (referentes):*

- O modelo construído representa apropriadamente os objetos do problema ou da situação?
- A questão que se pretende responder está dentro dos limites do modelo?
- As propriedades cinemáticas e dinâmicas estão sendo representadas no modelo correspondente?
- Há propriedades secundárias representadas que poderiam ter sido desconsideradas?
- O modelo construído é suficiente para responder a questão?

#### *Consistência interna:*

- Há consistência entre as variáveis apresentadas: por ex., a aceleração está realmente descrevendo a variação temporal da velocidade?
- As forças que deveriam sempre ser iguais e em sentido contrário mantêm esta relação?
- As condições de contorno são verificadas?
- As dimensões (unidades) são coerentes nas várias relações empregadas?

#### *Consistência externa:*

- O modelo construído é consistente com modelos construídos anteriormente para estudar situações semelhantes?

### *Sensibilidade*

- O modelo é sensível a diferenças entre os diversos objetos do problema?

### *Fidedignidade:*

- Algum aspecto negligenciado no modelo poderia alterar significativamente os resultados?

### *Resultados (depois da análise)*

- Quão bem a solução matemática responde à questão proposta no problema?
- Quão bem os resultados correspondem a evidências experimentais?
- Os resultados são reprodutíveis usando uma abordagem diferente?

### ***d) Expansão do modelo***

- Que elementos são críticos para resolver o problema?
- Que aspectos do modelo e de sua solução reforçam o que já se esperava dele?
- Que aspectos complementam o que se esperava?
- Que aspectos parecem contradizer seus conhecimentos?
- Como se pode aplicá-lo a outras situações?
- Como generalizá-lo?

## 4 ESTUDO I

Nosso primeiro estudo (Araujo, Veit & Moreira, 2005a) dentro da linha de pesquisa que investiga o uso de tecnologias computacionais como recurso auxiliar à aprendizagem de Física, apresentado neste capítulo, teve como objetivo investigar o desempenho de estudantes universitários expostos a atividades de simulação e modelagem computacionais, complementares à sala de aula.

O tópico escolhido para a investigação foi a interpretação de gráficos da cinemática, por se tratar de um assunto amplamente discutido na literatura e fundamental na formação de conceitos apresentados posteriormente ao longo dos cursos de Física.

### **Recurso computacional selecionado**

Para auxiliar os alunos na superação das dificuldades associadas a gráficos da cinemática, consideramos, respaldados na literatura (Beichner, 1990), que o uso de uma ferramenta que pudesse descrever os processos dinamicamente, permitindo ao aluno interagir com o movimento dos corpos envolvidos, ao mesmo tempo em que observa os gráficos sendo traçados, poderia vir a facilitar a sua compreensão do evento. O *software Modellus* (Teodoro, 1998) é uma ferramenta computacional que apresenta estas características.

Um dos principais recursos disponíveis no Modellus são as suas saídas gráficas, que podem ser vistas simultaneamente com animações. Um gráfico permite-nos resumir uma grande quantidade de informações e reconhecer facilmente dados de um evento físico, que de outra forma seriam mais difíceis de identificar. Para um cientista, trabalhar confortavelmente com gráficos é uma habilidade indispensável. O tema interpretação de gráficos da Cinemática, i.e, gráficos de

posição, velocidade, ou aceleração versus tempo, geralmente, é o primeiro estudo envolvendo o uso de gráficos de forma mais extensiva nos cursos de Física. No entanto, este tema nem sempre é bem compreendido pelos estudantes.

Outras características do Modellus relevantes para o nosso estudo dizem respeito à possibilidade de:

- que estudantes e professores façam experimentos conceituais utilizando modelos matemáticos definidos a partir de funções, derivadas, taxas de variação, equações diferenciais e equações a diferenças finitas, escritos de forma direta, ou seja, assim como o aluno aprende na sala de aula, sem a necessidade de metáforas simbólicas, tais como os diagramas de Forrester utilizados nos modelos confeccionados com o STELLA (Santos et al., 2000);
- representação múltipla, i.e., o usuário pode criar, ver e interagir com as representações analíticas, analógicas e gráficas dos objetos matemáticos (Teodoro, 1998);
- uso em modo exploratório de atividades de simulação e modelagem computacionais, em que os alunos podem usar modelos e representações feitos por outros, analisando como grandezas diferentes se relacionam entre si ou visualizando a simulação de um evento físico;
- uso em modo expressivo de atividades de modelagem computacional, em que os alunos podem construir seus próprios modelos matemáticos e criar diversas formas para representá-los.

Trabalhamos com a idéia de modelos físicos vistos como descrições simplificadas e idealizadas de sistemas ou fenômenos físicos, aceitos pela comunidade científica, que envolvem elementos como representações (externas), proposições semânticas e modelos matemáticos subjacentes; estes denominaremos aqui simplesmente de modelos. Entendemos modelagem como um processo de criação de um modelo, dividido em cinco estágios não-hierárquicos (Halloun, 1996): seleção, construção, validação, análise e expansão do modelo, onde os três estágios

intermediários sobrepõem-se, podendo ser conduzidos ao mesmo tempo, conforme exposto no Capítulo 3.

### **Dificuldades na interpretação de gráficos da Cinemática**

Uma das referências mais significativas para a execução deste estudo foi o trabalho desenvolvido por Beichner (1994), onde é proposto o desenvolvimento e a análise de um teste para averiguar a interpretação de gráficos da Cinemática por parte dos estudantes, e o levantamento de suas principais dificuldades. Ele argumenta que os professores de Física utilizam gráficos como uma segunda linguagem de comunicação, admitindo que seus estudantes possam obter uma descrição detalhada do sistema físico analisado, através deste tipo de representação. Infelizmente, seu trabalho indica que os estudantes não compartilham do mesmo vocabulário que os professores.

Beichner elaborou um teste chamado TUG-K (Teste do Entendimento de Gráficos da Cinemática), preocupando-se exclusivamente com a interpretação dos gráficos, não tendo como meta abordar as dificuldades na criação dos mesmos. Nas tabelas 4.1 e 4.2 são descritos os objetivos abordados e as dificuldades que foram mapeadas através da utilização do mesmo, respectivamente.

Tabela 4.1 - Objetivos do teste TUG-K de compreensão de gráficos da Cinemática.

<b>Dado:</b>	<b>O Estudante deverá:</b>
1) Gráfico de posição versus tempo	Determinar a velocidade
2) Gráfico da velocidade versus tempo	Determinar a aceleração
3) Gráfico da velocidade versus tempo	Determinar o deslocamento
4) Gráfico da aceleração versus tempo	Determinar a variação na velocidade
5) Gráfico da Cinemática	Selecionar outro gráfico correspondente
6) Gráfico da Cinemática	Selecionar a descrição textual adequada
7) Descrição textual do movimento	Selecionar o gráfico correspondente

Tabela 4.2 - Dificuldades dos estudantes em interpretação de gráficos da Cinemática.

<b>Dificuldades</b>
<b>1)</b> Visão de gráficos como uma fotografia do movimento
<b>2)</b> Confusão entre altura e inclinação
<b>3)</b> Confusão entre variáveis cinemáticas
<b>4)</b> Erros quanto à determinação de inclinações de linhas que não passam pela origem
<b>5)</b> Desconhecimento do significado das áreas no gráfico abaixo das curvas cinemáticas
<b>6)</b> Confusão entre área/inclinação/altura

### **Objeto de estudo e hipótese de pesquisa**

Este estudo teve como objeto de investigação o desempenho de alunos de Física submetidos a um tratamento que envolveu o uso um conjunto de atividades de simulação e modelagem, exploratórias e expressivas, apresentadas na forma de situações-problema e desenvolvidas com o software Modellus, que foram utilizadas como um complemento instrucional em áreas problemáticas do ensino de Física (Araujo, Veit & Moreira, 2004a).

Situações-problema dizem respeito a questões formuladas a partir de uma situação física bem definida onde os alunos expressam suas respostas do modo tradicional (lápiz e papel) e depois confrontam os seus resultados com aqueles obtidos com as simulações ou modelos computacionais, procurando justificar as eventuais disparidades entre ambos. Muitas vezes essas questões foram apresentadas na forma de “desafio”. Levamos em conta as dificuldades apresentadas na Tabela 4.2 para a elaboração de tais situações e enfatizamos em todas as atividades propostas o processo de interação aluno-simulação (modelo).

Como hipótese de pesquisa admitimos que o tratamento de pesquisa promoveria a predisposição do aluno para aprender, relacionando as novas

informações, de forma substantiva e não-arbitrária, à sua estrutura cognitiva, criando assim condições para uma aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado que resultaria em melhor desempenho em teste de conhecimento sobre tal conteúdo.

### Metodologia e análise dos resultados

Neste estudo adotamos uma metodologia de pesquisa educacional quantitativa, com delineamento quasi-experimental do tipo “design 10” (Campbell & Stanley, 1963), apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Delineamento da pesquisa (adaptado de Campbell e Stanley, 1963).

	Delineamento		
Grupo Experimental	O1	X	O2
Grupo de Controle	O1		O2

O<sub>1</sub> = Teste inicial  
X = Tratamento (Atividades de modelagem computacional)  
O<sub>2</sub> = Teste final

A amostra foi composta por 52 estudantes do 1º semestre de graduação do curso de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no primeiro semestre de 2002. Eles foram igualmente divididos em dois grupos: experimental (submetido ao tratamento) e o grupo de controle. O grupo experimental trabalhou uma vez por semana, durante quatro semanas em um laboratório de computação, enquanto o grupo de controle não realizou outras atividades extra-classes. Todos os alunos envolvidos, desde a validação do instrumento até a sua aplicação, já haviam sido expostos aos conteúdos da Cinemática e tanto os estudantes que compunham o grupo experimental quanto o de controle frequentaram normalmente as aulas da disciplina de Física Geral I, durante o período de quatro semanas em que o experimento foi realizado. As atividades de simulação e modelagem computacionais foram, então, complementares.

Para a construção do material instrucional utilizado pelo grupo experimental, admitimos que a testagem da hipótese poderia ser feita através de uma interação curta, mas efetiva, com o estudante. O tratamento se constituiu em quatro encontros de 2h15min, em um laboratório de computação, onde os estudantes trabalhando em duplas ou individualmente<sup>17</sup> (conforme sua escolha), foram submetidos a um conjunto de atividades de simulação e modelagem computacionais, que visavam permitir aos alunos a superação de suas dificuldades, referidas anteriormente na Tabela 4.2, e o alcance dos objetivos enumerados na Tabela 4.1. Em ambos os tipos de atividades, a interação entre o aluno e elas foi mediada pelo professor/pesquisador, tanto em termos de auxílio técnico para a operação do *software*, como também no esclarecimento de eventuais dúvidas sobre a Física e a Matemática envolvidas no desenvolvimento de seus modelos.

Para dispor de um instrumento confiável para medir a compreensão dos alunos em relação à interpretação de gráficos da Cinemática, adaptamos o Teste do Entendimento de Gráficos da Cinemática (TUG-K), que consiste de 21 questões de escolha simples com cinco alternativas cada, proposto por Beichner (1994), para a língua portuguesa<sup>18</sup>. Este instrumento foi elaborado com o objetivo de detectar se nossos estudantes também apresentam as dificuldades apresentadas na literatura (indicadas na Tabela 4.2) e servir como uma covariável para a análise dos resultados obtidos no teste final.

A validação deste instrumento foi feita em duas etapas. Inicialmente, o teste foi submetido ao exame de seis especialistas no conteúdo, todos doutores em Física, do Instituto de Física da UFRGS. A incorporação das modificações sugeridas resultou na versão do teste que foi aplicado a uma turma de 37 estudantes do 1º ano do curso de Engenharia Elétrica (UFRGS) no 2º semestre letivo de 2001, a fim de

---

<sup>17</sup> Mesmo os alunos que optaram por trabalhar individualmente com o computador interagiram com os seus colegas adjacentes.

<sup>18</sup> Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/gpef/tugk.zip>.

determinar o coeficiente de fidedignidade do instrumento (alfa de Cronbach), que resultou igual a 0,81 (Tabela 4.4). A aplicação do teste durou aproximadamente uma hora.

Concluída a etapa de validação, aplicamos o teste a 88 alunos do 1º semestre do curso de Física em sua primeira semana de aula. Após a aplicação do teste, solicitamos que os estudantes que tivessem disponibilidade se voluntariassem para compor o grupo experimental. Do total de 88 alunos, 26 foram voluntários para o grupo experimental e outros 26 formaram o grupo de controle (escolhidos por terem respondido tanto ao pré-teste, quanto ao pós-teste).

Para avaliar a eficácia do tratamento foi necessário medir o desempenho dos alunos do grupo experimental após o tratamento e compará-lo com o desempenho obtido pelos integrantes do grupo de controle. Para isto elaboramos um teste final a partir do reordenamento das questões do teste inicial e incluindo quatro questões adicionais, totalizando 25 questões de escolha simples com cinco alternativas cada. As questões adicionais foram elaboradas tendo como base os problemas propostos por McDermott, Rosenquist e van Zee (1987) e seguindo os mesmos objetivos descritos na Tabela 4.1. As questões extras também foram submetidas aos mesmos especialistas que avaliaram o teste inicial, ou seja, seis doutores do Instituto de Física da UFRGS.

A validação do teste final foi feita com sua aplicação a uma turma de 35 estudantes da disciplina de Física Geral I do curso de Engenharia Civil – UFRGS, obtendo-se o alfa de Cronbach igual a 0,84 (Tabela 4.4). A aplicação do teste durou aproximadamente uma hora. Após a validação do instrumento, ele foi aplicado aos mesmos 88 alunos submetidos ao teste inicial. A aplicação do teste durou aproximadamente 1h30min.

A partir dos resultados obtidos nos testes realizamos uma Análise de Consistência Interna (ACI) dos dados. Segundo Cronbach apud Moreira e Silveira (1993) podemos decompor a variância do escore total em uma parcela atribuída ao que há de comum entre os escores parciais (escores das questões do teste) e uma outra parte ao erro da medida. A estimativa desta parcela fidedigna comum aos itens do teste pode ser quantificada pelo coeficiente alfa de Cronbach. Na Tabela 4.4 são mostrados de forma resumida os resultados da ACI para os dois testes. Os coeficientes de fidedignidade obtidos ( $\sim 0,8$ ) são satisfatórios, pois quando se deseja utilizar os escores gerados pelo instrumento para comparar grupos em médias, podemos tolerar coeficientes da ordem de 0,7 (Moreira & Silveira, 1993, p.83) .

Tabela 4.4 – Síntese da análise de consistência interna dos testes inicial e final aplicados à turma piloto e aos grupos de pesquisa.

<b>Grupo</b>	<b>Teste</b>	<b>N</b>	<b>Média do escore total</b>	<b>Desvio padrão do escore total</b>	<b>Itens</b>	<b>Alfa de Cronbach</b>	<b>Coefficiente de correlação inicial-final</b>
Piloto	Inicial	37	14,60	4,13	21	0,81	
	Final	35	16,89	4,89	25	0,84	
Pesquisa	Inicial	52	12,25	4,63	21	0,83	0,64
	Final	52	18,00	5,36	25	0,88	

A Tabela 4.5 resume o desempenho dos grupos experimental e de controle nas questões comuns dos testes inicial e final. Podemos observar que, de um modo geral, houve um aumento no escore obtido no teste inicial para o teste final nos dois grupos. Para responder a nossa questão de pesquisa a partir da análise dos resultados dos testes nos concentramos na comparação entre as médias de acertos.

Podemos observar na Tabela 4.6 que há uma diferença entre as médias dos dois grupos no teste inicial. Por isto, fizemos uma análise da Variância e Covariância (ANOVA/ANCOVA)). Este procedimento corrige (ajusta por regressão) os escores do teste final, equiparando os sujeitos entre si nos escores da prova inicial, ou seja, calcula por regressão quais seriam os escores na prova final

caso não houvesse diferenças entre os indivíduos (conseqüentemente não houvesse também diferença em média entre os dois grupos) no teste inicial. Os resultados do uso da ANOVA/ANCOVA são mostrados na Tabela 4.7, que apresenta as médias ajustadas na prova final nos dois grupos, bem como a razão F de Snedecor (através do qual é obtido o nível de significância) para a diferença entre as duas médias e o nível de significância estatística desta diferença (Finn, 1997).

Da Tabela 4.7 vemos que o grupo experimental possui uma média superior ao grupo de controle e que podemos descartar a hipótese nula (o desempenho médio dos estudantes é o mesmo com ou sem a aplicação do tratamento) em um nível de significância menor do que 0,05. Ou seja, em nosso estudo houve um desempenho melhor, e estatisticamente significativo do grupo submetido ao tratamento. Este resultado sugere fortemente que é vantajoso utilizar atividades complementares de simulação e modelagem com o Modellus para promover uma aprendizagem significativa em Física na área de interpretação de gráficos da Cinemática.

Uma análise qualitativa baseada no depoimento dos alunos em entrevistas semi-estruturadas, nos leva a crer que o tratamento tenha gerado uma disposição para aprender nos alunos devido às atividades de simulação e modelagem computacionais permitirem rever conceitos e problemas, vistos anteriormente da forma tradicional, sob uma perspectiva nova, onde os alunos podem observar e interagir com aquilo que estão estudando, podem perceber a relevância das relações matemáticas subjacentes aos modelos físicos e refletir sobre o papel desempenhado pelos gráficos no estudo dos movimentos, não resumindo o processo de ensino/aprendizagem de Física a uma questão de encontrar e aplicar a fórmula certa para o exercício dado.

Tabela 4.5 – Desempenho dos grupos experimental e de controle nas questões comuns aos testes inicial e final.

Objetivos	Numeração no teste inicial	Numeração no teste final	Grupo Experimental		Grupo de Controle	
			Perc. acertos teste inicial	Perc. acertos teste final	Perc. acertos teste inicial	Perc. acertos teste final
4	1	4	19%	62%	46%	50%
2	2	5	73%	89%	88%	92%
6	3	20	69%	85%	81%	92%
3	4	21	19%	81%	54%	73%
1	5	1	81%	96%	88%	81%
2	6	2	50%	85%	46%	62%
2	7	3	35%	54%	58%	54%
6	8	6	65%	81%	85%	92%
7	9	7	23%	65%	15%	73%
4	10	8	27%	58%	42%	46%
5	11	10	62%	65%	62%	73%
7	12	9	85%	89%	81%	92%
1	13	11	35%	50%	46%	73%
5	14	12	73%	81%	73%	92%
5	15	14	31%	65%	65%	77%
4	16	13	27%	62%	38%	46%
1	17	15	35%	65%	50%	50%
3	18	16	54%	89%	69%	85%
7	19	17	50%	69%	85%	92%
3	20	18	69%	89%	100%	96%
6	21	19	50%	58%	81%	85%

Tabela 4.6 – Comparação entre as médias dos grupos experimental e de controle nos testes inicial e final.

Grupo	Teste Inicial (21 itens)			Teste Final (25 itens)			Coef. de correlação inicial-final
	Média do escore total	Desvio padrão	Perc. acertos	Média do escore total	Desvio padrão	Perc. acertos	
Experimental	10,65	4,24	51%	17,88	6,23	73%	0,72
Controle	13,85	4,51	66%	18,12	4,45	75%	0,64

Tabela 4.7 – Comparação das médias ajustadas do teste final entre os grupos experimental e de controle.

<b>Grupo</b>	<b>Média ajustada do teste final</b>	<b>F</b>	<b>Nível de significância estatística</b>
Experimental	19,21	4,08	0,049
Controle	16,79		

### **Considerações finais do Estudo I**

Tivemos como meta neste estudo determinar se os alunos teriam ganhos significativos em termos de aprendizagem de Física, após passarem por uma série de atividades complementares de simulação e modelagem computacionais aplicadas em situações de laboratório durante um curto intervalo de tempo. Os resultados deste estudo mostram que o grupo exposto ao tratamento obteve um desempenho médio melhor (estatisticamente significativo) do que o grupo submetido apenas ao método tradicional de ensino. Tais resultados sugerem que o uso de atividades de simulação e modelagem computacionais podem se constituir em ferramentas cognitivas úteis na aprendizagem de gráficos da cinemática, podendo complementar a prática docente do professor, inclusive em uma escala maior.

Outro aspecto importante a ser salientado é o da motivação para aprender proporcionada pelo tratamento aos estudantes. Além do interesse natural despertado pelo uso de microcomputadores, os resultados sugerem que a aplicação de atividades de simulação e modelagem computacionais exercem uma influência positiva na predisposição do indivíduo para aprender Física. Isto ocorre na medida em que a relevância de determinadas relações matemáticas e conceitos é percebida pelo aluno durante o processo de interação com os modelos conceituais, permitindo que o conteúdo visto anteriormente por ele, e que até então estava muito abstrato, passe a ter um referencial mais concreto.

Frente a estes resultados positivos na área da Cinemática, decidimos investir nas Leis de Maxwell, tendo em mente sua importância para uma real compreensão do Eletromagnetismo. A primeira investigação na área de Eletromagnetismo consistiu no Estudo II (Araujo, Veit & Moreira, 2005b), apresentado no Capítulo 5.

## 5 ESTUDO II

No presente capítulo relatamos o segundo estudo constituinte desta tese, no qual buscamos analisar as potencialidades do uso de simulação e modelagem computacionais, combinado com um método colaborativo presencial<sup>19</sup>, para a superação das dificuldades conceituais para um aprendizado significativo ausubeliano da Lei de Gauss e da Lei de Ampère. Passamos a adotar a metodologia de pesquisa educacional qualitativa<sup>20</sup>, e durante um semestre inteiro (2004/2) fizemos observações em uma turma do curso de Engenharia que cursava a disciplina de Física Geral II (FIS010182). Foram feitas observações, aplicadas provas, realizadas entrevistas, desenvolvidas atividades em pequenos grupos, com e sem computador, e foram feitos os respectivos registros.

Na seção 5.1 deste capítulo fazemos uma breve narrativa destas observações, incluindo uma descrição da metodologia de ensino e de pesquisa utilizadas. Detectamos neste estudo a necessidade de criação de algum recurso que auxiliasse o aluno a refletir sobre o processo de construção e/ou exploração do modelo computacional tornando-os conscientes, por exemplo, das teorias, princípios e idealizações que delimitam seu contexto de validade, dos vários estágios da modelagem computacional, bem como sobre os elementos essenciais do modelo a ser criado (em um referencial mais flexível que o de Halloun). Por isto, decidimos construir um instrumento heurístico que pudesse auxiliar os alunos na tarefa de concepção de modelos computacionais úteis para investigar questões específicas formuladas a respeito de determinado fenômeno físico. Criamos, então, o Diagrama AVM, que descrevemos na seção 5.2.

---

<sup>19</sup> Já empregado em outros estudos (Krey, 2000; Pinto, 2000; Malmann & Moreira, 2005) apresentando resultados satisfatórios.

<sup>20</sup> Esta metodologia será discutida no Estudo III.

## 5.1 USO DE SIMULAÇÕES E MODELAGEM COMPUTACIONAIS NA APRENDIZAGEM DA LEI DE GAUSS E DA LEI DE AMPÈRE EM NÍVEL DE FÍSICA GERAL

Com o objetivo de mapear as principais dificuldades que alunos de Física Geral encontram na aprendizagem da Lei de Gauss e da Lei de Ampère, Krey (2000) e Pinto (2000), respectivamente, 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. Seus resultados mostram que os estudantes, mesmo após passarem por um bom ensino tradicional, aparentemente, 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 apenas ao serem entrevistados. A Tabela 5.1 mostra de forma reduzida as dificuldades mapeadas, também indicadas por outros autores.

Tabela 5.1 – Principais dificuldades dos estudantes na aprendizagem da Lei de Gauss e da Lei de Ampère (Krey, 2000; Pinto, 2000; Guisasola et al., 2003).

<b>Lei de Gauss</b>	<b>Lei de Ampère</b>
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 entre linha amperiana e “superfície” amperiana.
[Superposição dos campos] o campo elétrico referido pela Lei de Gauss é devido somente às cargas internas à superfície gaussiana.	[Superposição dos campos] o campo magnético referido pela Lei de Ampère é devido somente às correntes internas ao percurso amperiano.
Confusão do fluxo do campo elétrico com fluxo de cargas.	Não entendimento da arbitrariedade da escolha do percurso sobre a linha amperiana.

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 pelos alunos no entendimento da Lei de Gauss e da Lei de Ampère pelos alunos. Nas palavras de Krey (ibid):

*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, estávamos 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.

## **Objetivos**

Com a intenção de obter subsídios para dar continuidade à pesquisa sobre o uso de simulação e modelagem computacionais para a superação de dificuldades de aprendizagem das Leis de Maxwell, este estudo, através de entrevistas semi-estruturadas e observações em situação de sala de aula, teve como objetivos:

- verificar o efeito motivador do uso de atividades exploratórias com simulações computacionais em conjunto com o 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.

### **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 havia, 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 permanentemente 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 chamamos de colaborativa presencial.

Além da interação social entre professor-aluno, salientada por Vygotsky, a interação entre os próprios alunos mostra-se vital para a consecução da aprendizagem por parte do aluno. Muitas vezes durante um episódio de ensino, o professor pode encontrar algumas dificuldades em expressar os conceitos de forma compreensível para os alunos e o diálogo entre eles pode permitir que, sob a supervisão do professor, aqueles que começaram a captar os significados socialmente aceitos, possam explicar para os colegas numa linguagem mais

acessível, como eles compreenderam, além de oportunizar a verificação por parte do professor de como os alunos estão compreendendo. Essa metodologia envolvendo o trabalho em grupo dos alunos, chamamos de colaborativa presencial, vêm sendo muito bem recebida pelos alunos e tem dado resultados favoráveis em termos de aprendizagem do conteúdo de eletromagnetismo em nível de Física Geral como sugerem os estudos de Krey (2000), Pinto (2002), Moreira & Mallman (2005), Greca & Moreira (2002). Contudo esses mesmos estudos indicam que os alunos não percebem as Leis de Maxwell como estruturantes do Eletromagnetismo, mas sim como instrumentais na resolução de problemas e, ainda assim, com certas dificuldades.

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 substituída por atividades exploratórias envolvendo simulações ou modelagem computacionais, realizadas em um laboratório de informática com duas aulas (3h e 20 min) para cada lei.

A modelagem computacional insere-se, então, nessa metodologia como um elemento adicional, enriquecedor, com potencial de aprimorá-la e eventualmente eliminar, pelo menos em parte, suas deficiências. Está aí a questão-foco do estudo: *que diferença faz a modelagem computacional na metodologia colaborativa presencial?* Deve ficar claro que não se trata de dar mais aulas usando atividades de modelagem computacional, pois esta está sendo inserida dentro da carga horária normal da disciplina.

As atividades de simulação e modelagem computacionais têm como objetivo motivar o aluno e engajá-lo intelectualmente nas tarefas propostas de modo que ele se disponha a relacionar o novo conhecimento de forma não-arbitrária e não-

literal em sua estrutura cognitiva, condições necessárias para que haja uma aprendizagem significativa do ponto de vista ausubeliano. Além disso, buscamos observar semioses entre o aluno e os modelos computacionais, ou seja, como se dá a produção de sentido das linguagens mediadas (Física e Matemática), explorando que habilidades cognitivas estão envolvidas nas atividades de modelagem e como estas podem ser usadas como “ferramentas para pensar”.

Conforme exposto no Capítulo 4, as atividades exploratórias de simulação caracterizam-se pela observação, análise e interação do aluno com as simulações, no intuito de permitir-lhe a percepção e a compreensão das eventuais relações existentes entre as variáveis envolvidas. As atividades exploratórias de modelagem permitem, ainda, que o aluno observe as relações entre o modelo matemático, 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. (Os guias fornecidos aos alunos e algumas telas ilustrativas das atividades computacionais, constituem o Apêndice B, desta tese.) A atuação do aluno sobre a simulação ocorre através de modificações nos valores iniciais e parâmetros, sendo por vezes 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<sup>®</sup> (aplicações em Java com conteúdo de Física) disponíveis em Belloni & Christian (2004). Escolhemos os Physlets por eles terem recursos representacionais mais avançados que o Modellus e por acreditarmos que os mesmos possibilitem, através de uma interface simples, que os alunos compreendam melhor os aspectos conceituais que desejamos ensinar, sem “enfeitar” ou acrescentar detalhes que os distraiam da Física. Ao trabalharmos uma experiência complexa, ou com uma simulação muito rebuscada graficamente, o aluno pode prestar atenção em aspectos não pertinentes ao que estamos buscando explicitar; em

outras palavras, corremos o risco de que ele se deslumbre com efeitos visuais e deixe de lado a essência do processo.

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), com um guia de atividades fornecido em papel, a ser preenchido e entregue ao final da aula (veja Apêndice B). 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 continham perguntas relacionadas ao conteúdo trabalhado, como 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 acreditamos ter obtido indícios de que os alunos continuaram percebendo a Lei de Gauss como método 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)*

*Tu usa para calcular o campo elétrico usando uma superfície imaginária e tu procura adequar qual a melhor superfície para calcular o campo elétrico. Faz muito sentido em relação a Lei de Coulomb, se tu usares uma esfera em cima de uma partícula carregada tu vai ter os mesmos resultados. (Aluno 2)*

*Serve para ti descobri o campo elétrico em um determinado lugar. (Aluno 3)*

A pergunta feita a estes alunos foi: o que você entendeu da Lei de Gauss? Eles não mencionam do que trata a lei, quais as grandezas física relevantes. Limitam-se a mencionar o aspecto de método para calcular.

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

*...ajudaram bastante, eu achei ótimo, modificando a superfície, tu podes ver o que acontece com o fluxo, tu pode passear 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 consegue ver o valor do campo aumentando ou diminuindo conforme a gente mexe nos parâmetros, eu achei que facilita bastante para aprender (Aluno 4).*

*Não tenho nenhuma sugestão, eu adorei as aulas no laboratório de informática, é muito melhor fazer exercícios daquele tipo onde a gente vê as coisas do que ficar só fazendo listas, que tu termina copiando de outros e chega na prova sem entender. Desse jeito, a gente se obriga a prestar atenção e fazer na aula, é bem melhor (Aluno 1).*

*Achei ótima, quando tu vê uma coisa acontecendo tu entende 10.000 vezes melhor, o que é bem melhor que ficar só olhando um monte de teoria. Tu enxerga muito mais, tem coisa que normalmente tu só decora e ali tu podes entender o que está acontecendo (Aluno 8).*

Porém alguns alunos não conseguiram acompanhar as atividades, por exemplo, vejamos dois depoimentos:

*Melhorar o programa, ficou muito confuso, talvez tenha sido as perguntas, não deu para entender direito, eu havia entendido um pouco da Lei de Gauss e chegando ali não deu para aplicar direito (Aluno 6).*

*O esqueminha lá no computador foi confuso. Na verdade eu cheguei atrasado e não consegui pegar o negócio direito, não entendi a relação do campo com aquelas estruturas para ficar mexendo. Não consegui enxergar a lei de Gauss ali (Aluno 4).*

Pudemos 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. Este uso espontâneo e adequado parece-nos indicar que eles passaram a se valer das simulações como uma ferramenta cognitiva. Ainda que nem todos se sentissem à vontade para utilizá-las nas suas explicações, a maior parte deles parecia interessado em acompanhar as explicações dos colegas que as utilizavam. Outro ponto que pode ser observado é que os alunos em geral tiveram dificuldades em determinar o contexto de validade da Lei de Ampère, acreditando que esta fosse válida mesmo para situações onde a corrente de condução variasse com o tempo:

*A Lei de Ampère é válida sempre, para qualquer situação (Aluno 7).*

Planejamos uma atividade expressiva de modelagem, na qual o estudante deveria, construir com o Modellus, um modelo que descrevesse a variação do campo elétrico em função da posição, incluindo pontos dentro e dentro e fora de uma esfera isolante. Para facilitar a construção do modelo, projetamos a seguinte estratégia: primeiramente os alunos calculariam com lápis e papel o campo dentro e fora de uma esfera condutora e de uma isolante. Posteriormente eles receberiam um modelo pronto, construído no Modellus, que representasse a variação do campo em função da distância ao centro da esfera, para o caso de condutor. Caber-lhes-ia, então, implementar no Modellus o modelo para o caso da esfera isolante. Reservou-se um encontro para esta tarefa: 1h40min e não foi possível executá-la, pois eles despenderam todo o tempo meramente para resolver os problemas com lápis e papel, ou seja, não nos foi possível avaliar o valor da modelagem na sua forma expressiva, dentro do cronograma estabelecido pelo professor da disciplina, antes de mais nada, por uma questão de tempo.

## **Comentários finais do Estudo II**

Como uma primeira aproximação para uma pesquisa mais aprofundada, realizamos este estudo buscando evidências da adequabilidade do uso de atividades exploratórias baseadas em simulações e modelagem computacionais, em conjunto com o 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, testagem de hipóteses e base para o diálogo nos grupos.

Os resultados obtidos indicam que o uso das atividades exploratórias, mais o método colaborativo presencial, pode 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. Por isso, no terceiro estudo introduzimos, 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.

Os resultados relatados apontaram para a necessidade de:

- elaboração de um texto de apoio no qual as Leis de Maxwell fossem introduzidas de modo adequado;

- criação de um instrumento heurístico que auxiliasse os alunos no desenvolvimento da modelagem computacional.

No Apêndice A consta o texto de apoio elaborado tendo como base o trabalho de Moreira (1977), as recomendações de Goldman, Lopes & Robilotta (1981) em relação à abordagem da Lei de Gauss e as dificuldades detectadas por Krey (2000), Moreira & Pinto (2003) e Guisasola et al. (2003). Este texto de apoio foi confeccionado de modo a apresentar uma visão geral do conteúdo a ser trabalhado, apresentando logo no seu início as Leis de Maxwell, para que o aluno perceba onde se insere, na estrutura da disciplina, o novo conhecimento a ser aprendido (Leis de Gauss e Ampère). Isso pode lhe dar melhores condições para que possa relacioná-los de modo não-arbitrário e não-literal em sua estrutura cognitiva, conforme os conceitos forem sendo progressivamente diferenciados e integrados novamente ao todo. Esta abordagem é conhecida como *abordagem ausubeliana* (ver seção 3.1).

## 5.2 O DIAGRAMA AVM

No Estudo I (Araujo, Veit & Moreira, 2005a), abordando gráficos da Cinemática, baseamo-nos no referencial de Halloun, apresentado na seção 3.3, para a elaboração das atividades exploratórias e expressivas, considerando principalmente os cinco estágios da modelagem por ele definidos (seleção, construção, validação, análise e expansão) e também os elementos essenciais do modelo (domínio, composição, estrutura e organização). Entretanto, nas atividades expressivas, observamos que muitos alunos construíam seus modelos sem tomar consciência dos seus vários elementos ou sem validá-los e analisá-los de um modo sistemático. Na prática, apesar de que não dispúnhamos de uma metodologia ou instrumento que os auxiliasse na tarefa de construção do modelo computacional, os alunos foram capazes de construí-los, talvez porque a Cinemática seja uma área em

que a modelagem computacional pode ser implementada com algumas poucas expressões matemáticas, bastante conhecidas já no ensino médio.

No Estudo II, entretanto, em que trabalhamos com tópicos do Eletromagnetismo, enfrentamos dificuldades em implementá-las. O referencial de Halloun, no que concerne ao domínio, composição, estrutura e organização de um modelo, é extremamente apropriado para o tratamento de sistemas da Mecânica, em que as interações entre os corpos podem ser descritas por forças. Já no caso das Leis do Eletromagnetismo, em que se pretende trabalhar com campos, este referencial não fornece maior suporte ao desenvolvimento do modelo, tornando complicada a elaboração de atividades expressivas de modelagem computacional acessíveis aos alunos de Física Geral. No que concerne aos cinco estágios da modelagem, o referencial continua apropriado, porém os alunos, por não estarem acostumados à modelagem, freqüentemente não são capazes de sistematizarem seus esforços nestes diversos estágios.

O tempo disponível para a construção de modelos computacionais foi muito reduzido. O conteúdo da disciplina inclui todo o eletromagnetismo básico, desde a eletrostática, às Leis de Maxwell em sua forma integral, passando por circuitos RLC e propriedades magnéticas da matéria, a ser desenvolvido em 6 horas/aula por semana, durante um semestre letivo, incluindo atividades de laboratório (2 horas/aula por semana). No total 8 horas/aula foram dedicadas à Lei de Gauss, por exemplo, aí incluídos uma apresentação teórica inicial, trabalho colaborativo presencial na solução de problemas em sala de aula e a execução de atividades de simulação e modelagem computacionais no laboratório de informática. O tempo disponível para a criação de uma atividade expressiva por parte dos próprios alunos (2 horas/aula) não lhes foi suficiente, tornando proibitivo, no presente caso, insistirmos em trabalhar com atividades desse tipo, no escasso tempo de que

dispúnhamos, sempre tendo em vista a integração das mesmas com o cronograma usual da disciplina.

Um dos preceitos básicos assumidos implicitamente nesta tese é que nosso objetivo é ensinar Física, sendo o computador apenas uma ferramenta para potencializar o aprendizado dos alunos. Como já mencionamos antes, adotamos o *software* Modellus para a realização das atividades expressivas, por ele permitir que os alunos possam criar seus modelos de forma muito similar à resolução de exercícios que eles estão acostumados a resolver em sala de aula, e pelas múltiplas possibilidades de representar graficamente os resultados gerados pelo modelo. Todavia, como pesquisadores, tivemos dificuldades em elaborar atividades expressivas que pudessem ser facilmente representadas e o *software* continuasse em segundo plano. Assim sendo, nos restaria, além de atentar para a Física que desejamos ensinar, dedicar algum tempo para um trabalho mais aprofundado sobre o funcionamento do Modellus, com o risco de sobrecarregarmos a estrutura cognitiva do aluno. Este mesmo motivo nos levou a não adotar outras possibilidades como a construção de atividades expressivas através de linguagens de programação como o Matlab e Mathematica, pois nosso enfoque visa concentrar as atenções dos alunos nos aspectos conceituais, usando os recursos computacionais apenas como um veículo que facilite sua compreensão da Física. Antes que uma limitação de *software*, acreditamos que a maior dificuldade de elaboração destas atividades, visando o aprendizado do aluno, é inerente à própria estrutura do conteúdo por nós abordado dentro do Eletromagnetismo, sendo mais natural a modelagem de sistemas dinâmicos para as mesmas. De qualquer modo, sentimos a necessidade de um instrumento que permitisse uma reflexão maior, por parte do aluno, sobre as atividades computacionais que estava realizando.

Baseados no grande sucesso obtido pelo uso do diagrama V, também conhecido como Vê de Gowin (Moreira & Buchweitz, 1993), na análise do processo

de produção de conhecimento e para extrair conhecimentos documentados em artigos de pesquisa, livros, ensaios, etc., decidimos propor uma Adaptação do Vê de Gowin para a Modelagem computacional (o diagrama AVM), que passamos a apresentar.

O formato em Vê do diagrama, originalmente proposto por Gowin, não é algo fundamental. Outros formatos poderiam ser utilizados, porém adotamos no diagrama AVM o formato em V por evidenciar a interação entre os dois domínios indispensáveis para a construção de um modelo computacional dirigido ao processo de ensino-aprendizagem de Física: o domínio teórico, relacionado à concepção do modelo, e o domínio metodológico associado à implementação e/ou exploração do modelo.

No centro do diagrama AVM, estão o *fenômeno de interesse* que desejamos abordar, e as *questões-foco* que direcionam a análise/construção do modelo computacional. Na base do Vê, estão as *situações-problema* que são descrições da situação/evento sob investigação para responder as questões-foco, e que contextualizam o fenômeno de interesse.

Os lados esquerdo e direito do diagrama AVM podem ser visualizados com maior detalhes na Figura 5.2. O lado esquerdo do diagrama concentra os aspectos teóricos do planejamento/análise do modelo computacional. Neste lado, aparece a *filosofia*, ou sistemas de crenças subjacentes ao processo de modelagem da situação-problema, as *teorias* que guiam a elaboração do modelo, os *princípios e idealizações* (ou aproximações) assumidos, que determinam o contexto de validade do modelo, as *entidades* que o compõem, os *signos* que as representam, as *variáveis e parâmetros* usados para representar estados e propriedades das entidades no modelo, as *relações* matemáticas ou proposicionais (na forma de um enunciado técnico, como “quanto maior isso...menor aquilo”), os *resultados conhecidos* usados para uma validação

inicial do modelo, e que dependerão do conhecimento prévio do modelador sobre o sistema representado, e as *predições* que nada mais são do que tentativas iniciais de responder as questões-foco antes de executar o modelo.

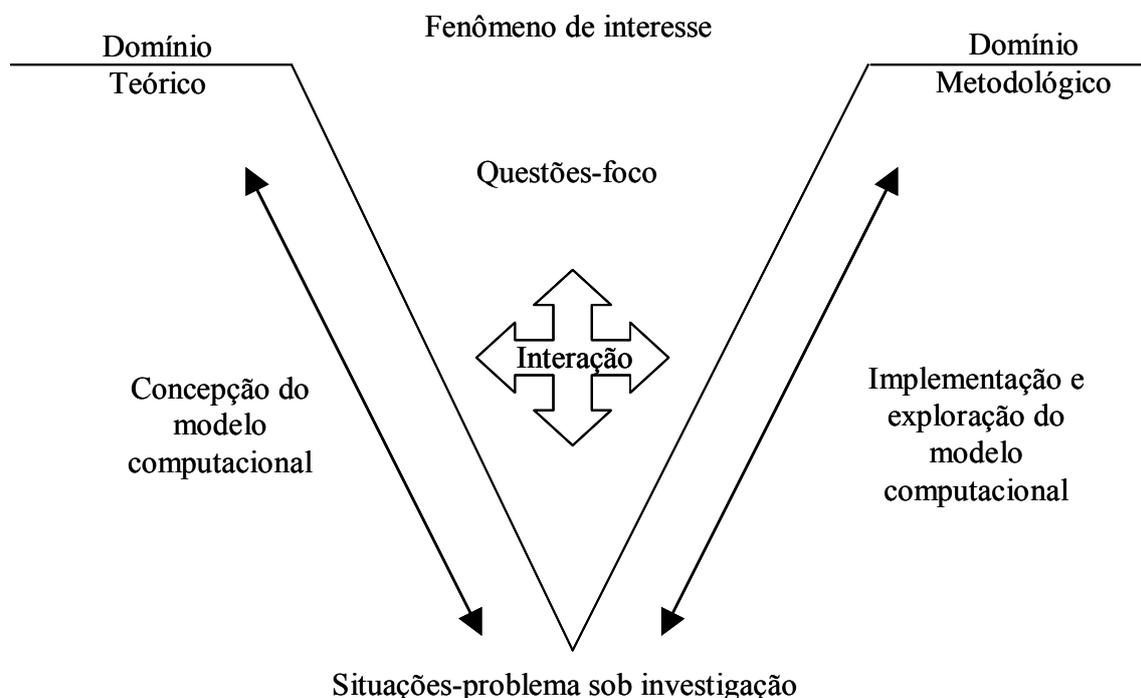


Figura 5.1 – Versão esquemática do diagrama AVM.

No lado direito do diagrama AVM, correspondente ao domínio metodológico, estão: os *registros*, ou seja, as dados coletados para tentar responder as questões-foco; os *elementos interativos*, relacionados com as possibilidades de alteração dos parâmetros e variáveis durante o tempo de execução do modelo computacional; as *representações* fornecidas pelo modelo (gráficos, tabelas, etc) e pertinentes à busca de respostas, feitas a partir de transformações dos registros, e a *categorização da modelagem*, conforme a seguinte classificação:

a) ao modo (*expressivo*: quando estamos construindo o modelo; ou *exploratório*: quando estamos apenas explorando-o);

b) ao tipo (*qualitativa*: ligada à modelagem de construções lingüísticas e produções textuais; *semiquantitativa*: ligada ao uso de diagramas causais, sem o uso de relações numéricas; *quantitativa*: vinculada a modelos matemáticos, envolvendo valores numéricos e relações do tipo desigualdades e equações);

c) à implementação: no modo expressivo, uma descrição da forma em que o modelo foi implementado no computador (através de metáforas, linguagem de programação, inserção de equações como se escreve, etc) e da ferramenta utilizada (*PowerSim*, *Fortran*, *Modellus*, etc). No modo exploratório, uma indicação se é uma simulação autônoma, ou se precisa ser executada dentro de algum programa. Sempre que possível deve ser indicada a ferramenta computacional usada para construir a simulação.

Ainda no lado direito do Vê, temos a etapa de *validação do modelo*, na qual comparamos os resultados conhecidos com os resultados gerados pelo modelo. Caso haja discordância entre ambos, o modelo é considerado insatisfatório e deverá ser modificado até que passe a reproduzir os resultados conhecidos. Neste estágio, diz-se que o modelo está validado. Então, passa-se a obter as *asserções do modelo*, ou seja, as respostas à(s) questão(ões)-foco, que sejam interpretações razoáveis dos registros e das representações fornecidas pelo modelo, permitindo também a avaliação das predições. Por último, temos as *possíveis generalizações e expansões do modelo*, que são as generalizações sobre a aplicabilidade da estrutura do modelo e como expandi-lo de modo a incluir variáveis e relações não definidas inicialmente (mudança nas idealizações e princípios), ampliando o contexto de validade do mesmo.

É importante salientar que há uma permanente interação entre os dois lados do diagrama AVM, de modo que tudo que é feito no lado metodológico, é guiado pelos componentes do lado conceitual, na tentativa de construir/analisar o modelo e

responder as questões-foco. Esta interação mimetiza a recursividade intrínseca ao processo de modelagem.

Propomos quatro aplicações para o diagrama AVM no ensino da modelagem computacional.

- 1) Modo exploratório dirigido: no Vê, o fenômeno de interesse, as questões-foco e a situação-problema são definidos pelo professor e um modelo computacional já construído é apresentado. A elaboração reflexiva do Vê servirá como um guia para exploração do modelo de modo a responder as questões-foco. Atividades construídas desta forma podem evitar que os alunos se distraiam com detalhes e não captem os aspectos essenciais do modelo focados pelo professor, principalmente em simulações muito elaboradas e "realistas".
- 2) Modo exploratório aberto: é apresentado um modelo computacional já construído e pede-se que, através do Vê, o aluno explore de forma reflexiva o modelo, dando atenção especial à formulação das questões-foco. Este modo pode ser especialmente útil para a construção de materiais educacionais a partir de simulações criadas por terceiros, o que é interessante tanto para o próprio professor, que venha a usar materiais disponíveis na rede, por exemplo, quanto para alunos.
- 3) Modo expressivo dirigido: neste caso o fenômeno de interesse, as questões-foco e a situação-problema são fornecidas previamente pelo professor, ficando a cargo do aluno elaborar o restante do Vê e construir seu modelo computacional correspondente. Este modo pode ser usado quando desejamos que o aluno construa um modelo computacional sobre um determinado conteúdo, levando em consideração aspectos-foco definidos pelo professor.

- 4) Modo expressivo aberto: são propostas atividades em que o aluno deve construir o modelo computacional a partir da elaboração reflexiva do Vê, definindo ele mesmo as questões-foco e a situação-problema, que guiarão o seu trabalho. Este modo de uso do Vê pode guiar o professor na construção de seus próprios modelos.

Apresentamos um exemplo, não exemplar, de um diagrama AVM construído por um aluno iniciante para a modelagem computacional de um circuito elétrico RC, na Figura 5.3.

Durante o processo de criação do diagrama AVM, como um instrumento heurístico para a modelagem computacional aplicada ao ensino de Física, consideramos os cinco estágios não hierárquicos definidos por Hauloun (seção 3.3) e também elementos da metodologia P.O.E. (*Predict Observe Explain*) (Tao & Gunstone, 1999). Estes elementos aparecem “diluídos” em vários campos do diagrama AVM e os estágios no processo dialético de elaboração do mesmo.

Nas atividades de ensino no modo exploratório, instigamos o aluno a se questionar sobre as relações existentes entre as várias variáveis envolvidas, fazendo com que se questione constantemente sobre os efeitos de suas ações sobre os resultados gerados pelo modelo. Normalmente esta questão pode ser descrita como: - se eu alterar "isso" o que acontece com "aquilo"? Este raciocínio causal subjacente serve como pano de fundo para a promoção da interatividade.

Nas atividades de ensino no modo expressivo, o diagrama AVM foi concebido para servir de instrumento heurístico para a elaboração do modelo computacional. No âmbito desta tese este instrumento foi utilizado no Estudo III, que constitui o Capítulo 6.

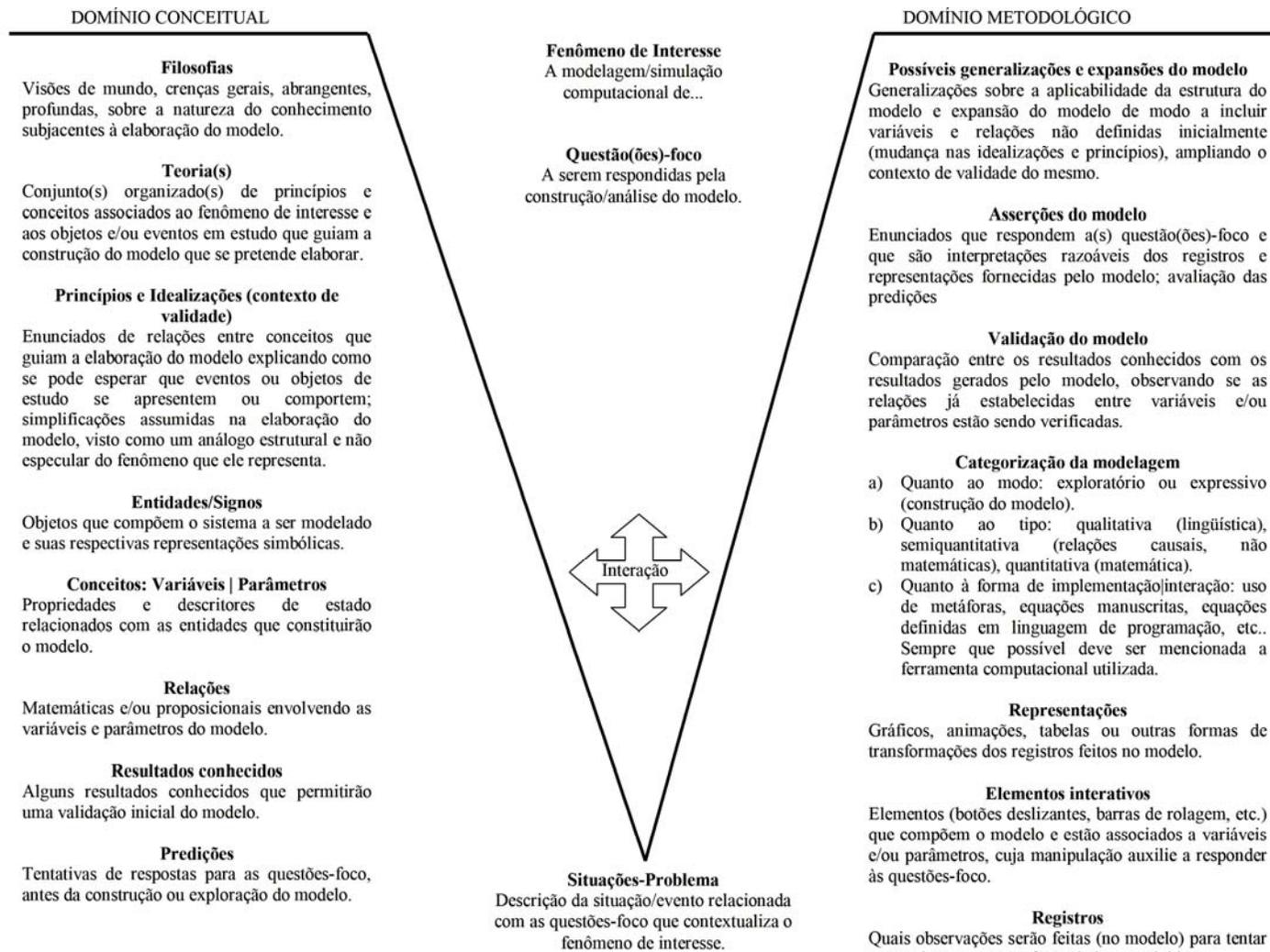


Figura 5.2 - Adaptação do Vê epistemológico para a Modelagem Computacional.

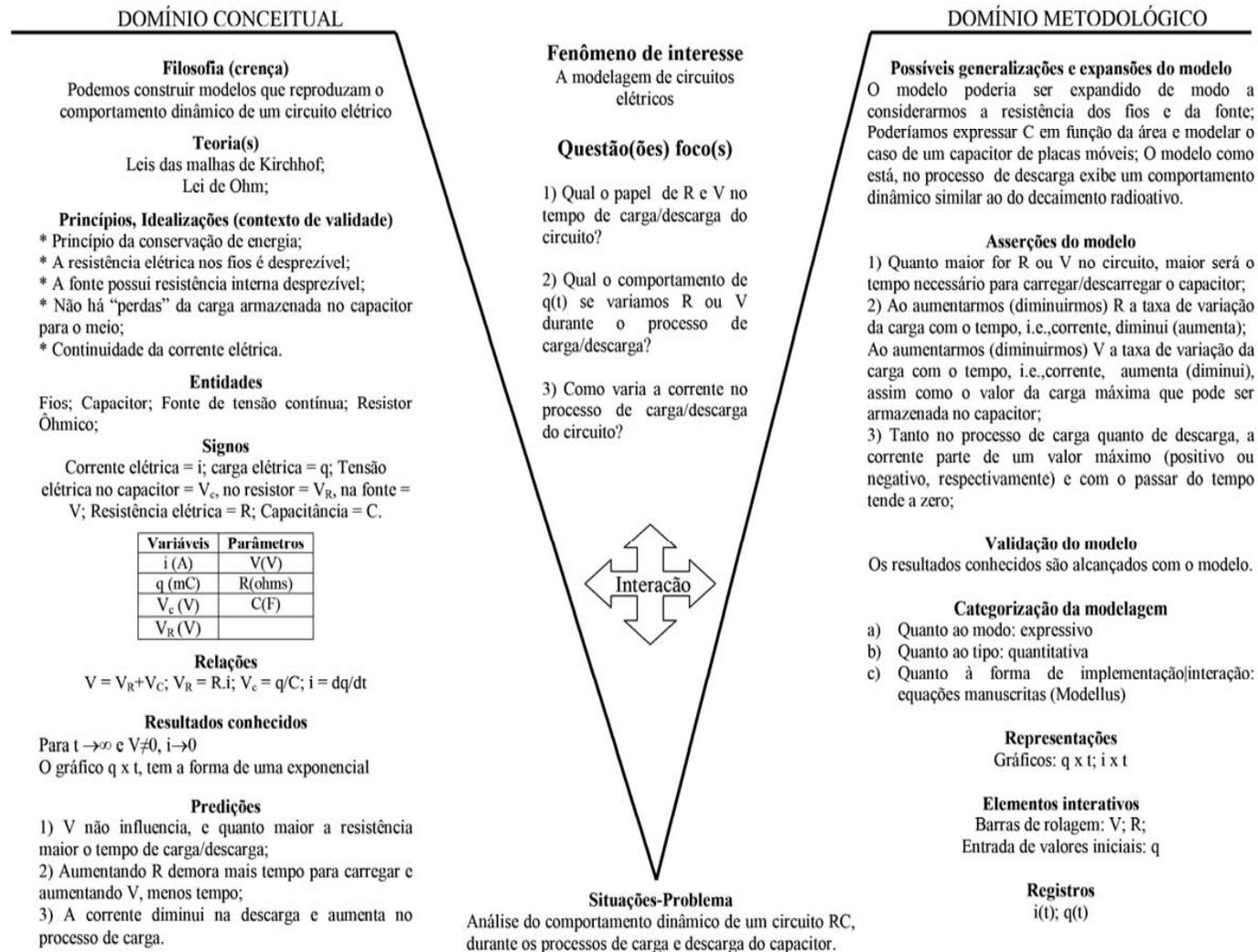


Figura 5.3 - Diagrama AVM para a construção de um modelo sobre um circuito RC, do ponto de vista de um aluno iniciante, ou seja, feito por um aluno que está iniciando sua trajetória no campo conceitual correspondente.

## 6 ESTUDO III

Neste capítulo apresentamos o último dos estudos que embasam esta tese. Iniciamos descrevendo a natureza geral da pesquisa qualitativa. Com base na revisão da literatura apresentada na seção 2.1, sintetizamos as dificuldades referentes às Leis de Gauss e de Ampère, que serviram de aporte para a elaboração das entrevistas semi-estruturadas sobre estas duas leis. Seguem-se, o contexto de nosso estudo e a narrativa detalhada dos depoimentos dos alunos nas entrevistas. Para cada um dos casos estudados (os onze alunos da disciplina), fazemos uma síntese interpretativa dos dados coletados nas observações participantes, nas entrevistas, nas tarefas executadas e nas provas. Finalizamos apresentando as regularidades observadas.

### Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa é, sobretudo, interpretativa, naturalista e participativa. O interesse central desse tipo de investigação está em chegar a uma interpretação dos significados atribuídos pelos sujeitos a suas ações, através da observação participativa, ou seja, o investigador fica imerso no fenômeno de interesse em seu acontecer natural. Embora se utilize a palavra qualitativa para este tipo de pesquisa, sua origem semântica não está associada à qualidade, no sentido de que esta pesquisa tem mais qualidade. Estudo qualitativo é usado em contraposição aos estudos quantitativos, que seguramente podem ter, também, qualidade.

Na pesquisa qualitativa as hipóteses são geradas **durante o processo investigativo**. Não se trata de testar hipóteses feitas *a priori*. O pesquisador busca universais concretos, alcançados através de estudo profundo de **casos particulares**, e da comparação desses casos com outros estudados também com profundidade. Através de

uma **narrativa detalhada o investigador busca credibilidade para seus modelos interpretativos**. (Moreira, 2002, p. 27).

Os dados obtidos através da observação participativa, da imersão do pesquisador no fenômeno de interesse, são de natureza qualitativa e analisados correspondentemente. Não significa que não se possa quantificar nada; significa, isso sim, que não se pretende fazer inferências, gerar universais abstratos, através de médias, tabelas, coeficientes e outros recursos estatísticos. Há uma diferença paradigmática entre a pesquisa quantitativa (usada no Estudo I) e a pesquisa qualitativa (usadas nos Estudos II e III), o que não impede que se tente complementaridade, ou uma triangulação, entre estudos, e até mesmo dentro de um mesmo estudo.

Há vários tipos de pesquisa qualitativa, entre os quais se destacam a *etnografia*, a *investigação-ação* e o *estudo de casos*, sem serem mutuamente exclusivos. A etnografia é uma tentativa de descrever uma cultura (André, 1998, p.9). A investigação-ação tem por objetivo melhorar a prática, ao invés de gerar conhecimentos. A produção e utilização do conhecimento se subordina a este objetivo, e está condicionada por ele (Eliott, 1993, p.67). O estudo de casos é um termo genérico para a investigação de um indivíduo, um grupo ou um fenômeno (Sturman, 1988, p. 61).

O estudo de casos se caracteriza por uma análise profunda de uma instância singular, um sujeito, um fenômeno ou uma unidade social. A propósito, é preciso não confundir estudo de casos com *método de casos*, onde casos são apresentados aos estudantes com propósitos ilustrativos. Além de requerer imersão no fenômeno de interesse, observação participativa, multiplicidade de informações, a pesquisa qualitativa requer tempo. Não se trata de fazer um estudo qualitativo em dois ou três dias, ou mesmo duas ou três semanas. Sem querer definir um tempo ótimo, poder-se-ia dizer que na pesquisa qualitativa o tempo de imersão é, pelo menos, da ordem de meses.

Neste terceiro estudo optamos pelo estudo de casos. Por um lado, eram apenas onze alunos e ficaria difícil tentar um enfoque quantitativo. Por outro, nos convinha, porque neste estágio da pesquisa já estávamos mais interessados em uma análise mais detalhada, mais minuciosa. Além disso, onze casos nos pareceu um número aceitável para que cada um deles fosse considerado um caso, e comparando-os talvez fosse possível identificar algumas regularidades.

Quanto ao tempo, cremos que um semestre letivo com no mínimo quatro horas semanais de aulas, em permanente interação com os alunos, foi suficiente para que esse aspecto da pesquisa qualitativa fosse satisfeito.

### **Dificuldades relativas às Leis de Gauss e Ampère**

Reapresentamos na Tabela 6.1 as principais dificuldades na aprendizagem das Leis de Gauss e Ampère encontradas na literatura, incluindo uma dificuldade que observamos no Estudo II (DA5, na Tabela 6.1). O texto de apoio que consta no Apêndice A, as atividades computacionais exploratórias e os guias para as mesmas (Apêndice B), foram concebidas levando em conta tais dificuldades.

Tabela 6.1 – Principais dificuldades dos estudantes na aprendizagem da Lei de Gauss e da Lei de Ampère (Krey, 2000; Guisasola et al., 2003; Moreira & Pinto, 2003).

<b>Lei de Gauss</b>		
<b>Índice</b>	<b>Dificuldade</b>	<b>Exemplos de argumentação</b>
DG1	Visão da Lei de Gauss como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria.	“A Lei de Gauss é um método que nos permite calcular o campo elétrico mais facilmente que a Lei de Coulomb quando temos simetria.”
DG2	Confusão entre campo elétrico e fluxo do campo elétrico.	“Se não houver carga alguma dentro da superfície gaussiana, o campo é nulo.”
DG3	[Superposição dos campos] o campo elétrico referido pela Lei de Gauss é devido somente às cargas internas à superfície gaussiana.	“Apenas o campo produzido pelas cargas dentro da superfície gaussiana precisa ser considerado, pois a contribuição das cargas externas é zero.”
DG4	Escolha da forma e onde posicionar a	“Nunca sei qual a forma e onde colocar a origem

	superfície gaussiana.	da superfície gaussiana, pois mudam a cada problema.”
DG5	Confusão entre as dimensões da gaussiana com as dimensões de objetos que compõem o sistema.	“Não consigo distinguir quando devo usar o raio da esfera ou o raio da gaussiana para calcular o campo elétrico de uma esfera isolante carregada.”
DG6	Dificuldade em identificar a carga líquida envolvida pela superfície gaussiana.	“Faço confusão quando tenho que determinar qual a carga líquida quando o raio da gaussiana é menor do que o raio da esfera e esta tem ‘buracos dentro’ ” (casca esférica).
DG7	Confusão do fluxo do campo elétrico com fluxo de cargas.	“A Lei de Gauss serve para calcularmos o campo elétrico em um ponto a partir do fluxo de cargas que atravessa uma superfície gaussiana.”
<b>Lei de Ampère</b>		
DA1	Visão da Lei de Ampère como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria.	“A Lei de Ampère é um método que nos permite calcular o campo magnético mais facilmente do que usando a Lei de Biot-Savart para casos com simetria.”
DA2	Confusão de linha amperiana com “superfície” amperiana.	“...a superfície amperiana que envolve a corrente líquida...”
DA3	[Superposição dos campos] o campo magnético referido pela Lei de Ampère é devido somente às correntes internas à linha amperiana	“A Lei de Ampère indica que são as intensidades (de corrente) que atravessam a linha amperiana que criam o campo magnético.”
DA4	Confusão entre campo magnético e circulação do campo magnético	“Se a corrente líquida envolvida pelo laço amperiano é zero, o campo magnético é nulo sobre ele.”
DA5	Determinação do contexto de validade da Lei de Ampère <sup>21</sup>	“A Lei de Ampère é válida sempre, para qualquer situação.”

## Contexto

Trabalhamos no Estudo III com 11 (onze) alunos do curso de Física – Licenciatura e Bacharelado, matriculados na disciplina de Física Geral III – turma E, no Departamento de Física da UFRGS, durante o primeiro semestre de 2005. Os alunos tiveram duas aulas teóricas e uma aula experimental semanais de 1h e 40 min cada. Diferentemente do Estudo II, o pesquisador atuou como professor da parte teórica da disciplina. De modo geral, a cada aula, foi feita uma exposição de 30 a 40 min seguida da realização de uma tarefa, pelos alunos, em pequenos grupos (no máximo três alunos). Esta

<sup>21</sup> Esta dificuldade foi detectada no Estudo II.

tarifa, cujo resultado era entregue no final da aula, continha alguns problemas ou algumas questões teóricas ou, ainda, um mapa conceitual sobre o conteúdo, fazendo parte da avaliação da disciplina.

Durante a realização destas tarefas o professor interagiu intensamente com os alunos e estes, por sua vez, interagiram bastante entre si, através do método colaborativo presencial, exposto no Capítulo 5. As aulas experimentais, ministradas por outro professor, não foram observadas no presente estudo. Na primeira aula de introdução a cada lei, após a explanação do professor, os alunos receberam um texto de apoio (Apêndice A) e resolveram problemas exemplares, em pequenos grupos, a serem entregues ao final da aula. Nas duas aulas seguintes parte do tempo que seria dedicado à realização de tarefas foi utilizado com atividades exploratórias envolvendo simulação e modelagem computacionais, realizadas em um laboratório de informática com duas aulas (3h e 20 min) para cada lei. Os alunos realizaram as atividades exploratórias, a partir dos guias apresentados no Apêndice B, entregues impressos a cada um e a serem devolvidos, um por grupo, devidamente preenchidos ao final da aula.

Nas atividades exploratórias de simulação envolvendo a Lei de Gauss os alunos se dividiram em quatro duplas e um trio (cinco grupos) e para a Lei de Ampère formaram cinco duplas<sup>22</sup>. Foi disponibilizado um computador para cada grupo, sendo permitida, e até mesmo incentivada, a interação entre os grupos e com o professor, sempre que necessário. Tanto as notas de aula, quanto o texto de apoio puderam ser consultados livremente durante a realização das tarefas. Salientamos aqui que as atividades foram desenvolvidas de forma integrada às aulas da disciplina, ou seja, em situação de sala de aula e no tempo normalmente disponível para a realização de exercícios e problemas.

---

<sup>22</sup> O Aluno 9, por problemas de saúde, participou apenas das atividades envolvendo a Lei de Gauss.

Para a Lei de Ampère, foi elaborada uma atividade exploratória de modelagem (AEM) utilizando-se o *software* Modellus e o diagrama AVM como um instrumento para a reflexão sobre o modelo computacional apresentado. Inicialmente, distribuimos um pequeno texto sobre a elaboração de diagramas AVM (Apêndice C) e discutimos alguns pontos-chave do mesmo, como a definição das questões-foco, predições, contexto de validade e outros e, em seguida, apresentamos um modelo computacional (Figura 6.1) representando um sistema físico envolvendo um fio condutor reto longo (círculo amarelo), transportando corrente constante. Um laço amperiano circular, cujo raio podia ser alterado a partir de uma barra de rolagem, foi disponibilizado no modelo (circunferência verde), e o módulo do campo magnético sobre um ponto do laço era exibido logo abaixo. O modelo focava a análise da intensidade do campo magnético em pontos dentro e fora do fio, dedução que já havia sido realizada em sala de aula, sendo solicitado aos alunos num primeiro momento que analisassem o modelo de modo a começarem a criação de um diagrama AVM para o mesmo, definindo qual era o fenômeno de interesse, as questões-foco, a situação-problema, os campos do domínio conceitual do diagrama e os que eles conseguissem preencher do domínio metodológico. Completada esta etapa, os alunos partiram para uma exploração mais detalhada do modelo, tendo sido possibilitado a criação de gráficos e tabelas para a análise dos resultados do modelo e a visualização/edição das equações matemáticas que formavam sua estrutura.

Propositadamente, inserimos um “erro” nas equações do modelo, que não foi informado aos alunos: o campo magnético dentro do fio era proporcional a  $r^2$  e não a  $r$  como mostra a Figura 6.2. Eles buscaram uma validação inicial do modelo, analisando se os resultados conhecidos eram alcançados para verificar suas predições. As duplas passaram, então, a avaliar se de fato havia algo errado com a definição matemática do modelo, ou o que estaria errado com suas deduções para o domínio conceitual que não haviam sido confirmadas, em sua interação com o domínio metodológico.

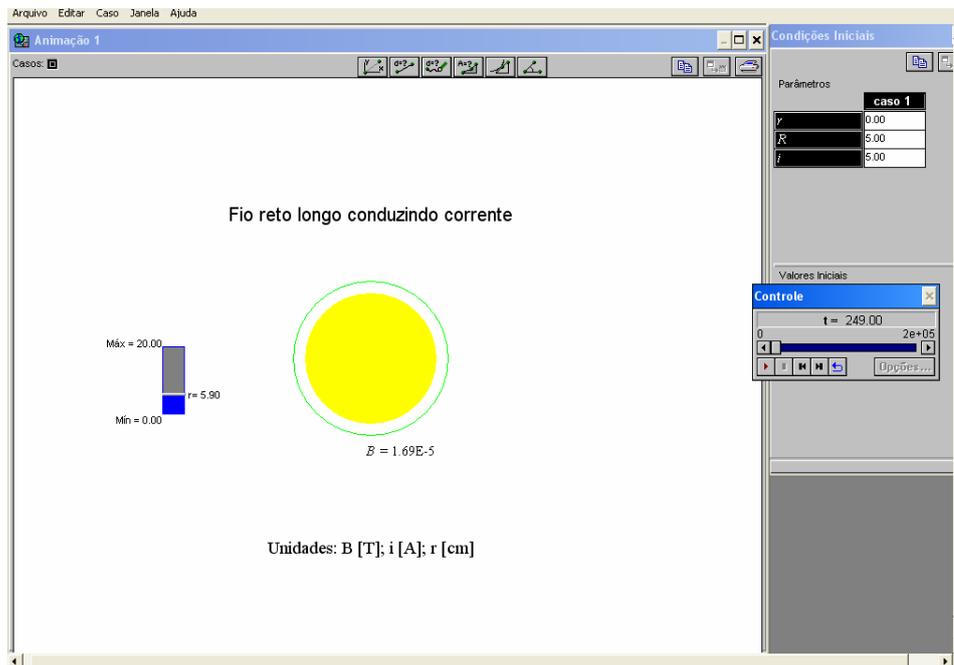


Figura 6.1 – Tela ilustrativa da atividade exploratória de modelagem.

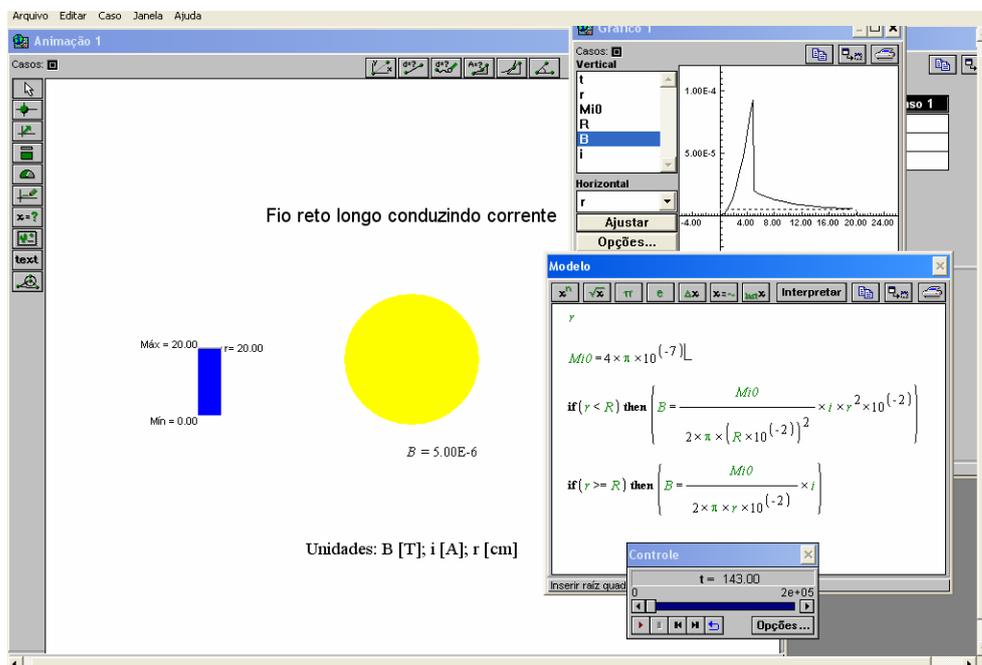


Figura 6.2 – Janela de definição das equações matemáticas do modelo computacional.

## Entrevista 1

Os alunos foram entrevistados individualmente pelo pesquisador duas vezes. A primeira entrevista, chamada aqui de Entrevista 1, abordou a Lei de Gauss tendo como base seis questões elaboradas a partir das dificuldades apresentadas na Tabela 6.1, e quatro perguntas relativas à abordagem didática utilizada. Apresentamos na seqüência as 10 perguntas feitas a todos os alunos na Entrevista 1. Ocasionalmente, uma pergunta adicional, para esclarecer melhor a opinião do aluno era formulada pelo entrevistador, como fica claro nas Tabelas 6.2-6.11, que contêm as entrevistas.

**EG1)** Fale tudo que você sabe sobre a Lei de Gauss, interprete-a fisicamente, exemplificando sua explicação. Discuta seus conceitos principais, fazendo uso de desenhos e diagramas, se necessário.

A primeira pergunta (EG1) foi formulada com o objetivo de detectar alguma das dificuldades mostradas na Tabela 6.1 no geral, e em particular a dificuldade DG1 (visão da Lei de Gauss como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria).

**EG2)** Imagine uma linha infinita carregada positivamente com densidade linear de cargas constante e que:

- a) seja traçada uma superfície gaussiana de formato cilíndrico acima desta linha, não envolvendo cargas. Quem gera o campo elétrico num ponto  $a$  sobre a superfície gaussiana (Figura 6.3.a)?
- b) seja traçada uma superfície gaussiana de formato cilíndrico centrada e com eixo coincidente com esta linha, envolvendo uma certa quantidade de cargas. Quem gera o campo elétrico num ponto  $a$  sobre a superfície gaussiana (Figura 6.3.b)?

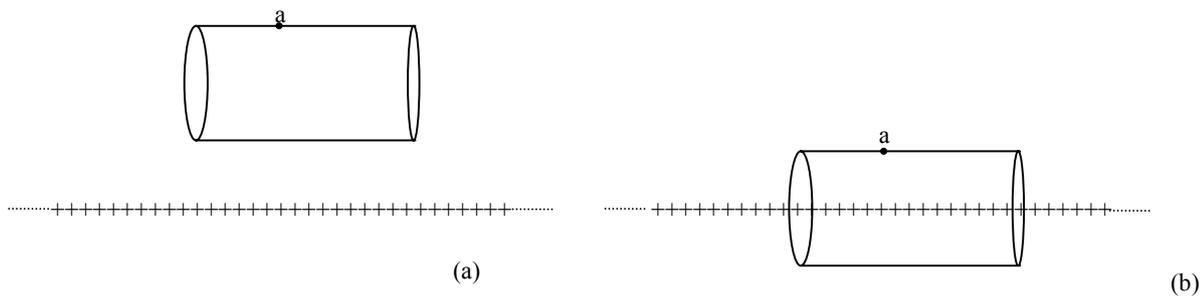


Figura 6.3 – Uma linha infinita de cargas e uma superfície gaussiana cilíndrica posicionada: (a) acima das linhas de carga e (b) centrada nesta linha.

Nesta pergunta (EG2), nosso objetivo foi detectar a dificuldade DG2 (confusão entre campo elétrico e fluxo do campo elétrico), apresentando duas situações envolvendo uma linha de cargas infinita, sem mostrar as linhas de campo geradas pela distribuição.

**EG3)** Imagine um dipolo elétrico. O que podemos dizer sobre:

- a) o fluxo elétrico através da superfície gaussiana de formato arbitrário (Figura 6.4)?
- b) o campo elétrico num ponto  $a$  na superfície gaussiana?

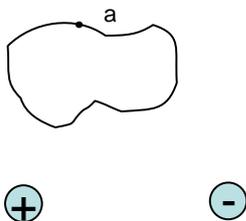


Figura 6.4 – Dipolo elétrico e uma superfície gaussiana arbitrária.

Esta questão (EG3) foi formulada considerando as dificuldades DG2 (confusão entre campo elétrico e fluxo do campo elétrico) e DG3 (o campo elétrico referido pela Lei de Gauss é devido somente às cargas internas à superfície gaussiana).

**EG4)** a) Qual o critério que você utiliza para escolher o formato e onde posicionar a superfície gaussiana? b) É o fluxo de que, que atravessa a superfície gaussiana?

Nosso objetivo nesta questão (EG4) foi detectar as dificuldades DG4 e DG5 da Tabela 6.1.

**EG5)** Considere uma camada esférica não-condutora com raio interno  $a$  e raio externo  $b$  e densidade volumétrica de cargas constante na região compreendida entre  $a$  e  $b$ , conforme mostra a Figura 6.5. Descreva de maneira geral, qual seria o procedimento, utilizando a Lei de Gauss para determinar o campo elétrico em termos da carga líquida envolvida por uma superfície gaussiana, onde  $r$  é a distância entre o centro da casca e o ponto onde quereres determinar o campo elétrico, para os seguintes casos:

- a)  $r \leq a$
- b)  $a < r < b$
- c)  $r \geq b$

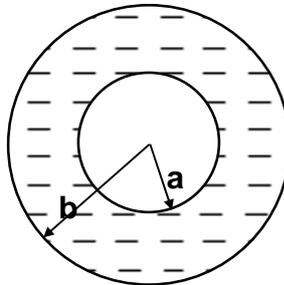


Figura 6.5 – Casca esférica não-condutora carregada, de raio interno  $a$  e externo  $b$ .

Na questão EG5, temos como finalidade observar a ocorrência ou não das dificuldades DG4 (escolha da forma e onde posicionar a superfície gaussiana.), DG5 (confusão entre as dimensões da gaussiana com as dimensões de objetos que compõem o sistema.) e DG6 (dificuldade em identificar a carga líquida envolvida pela superfície gaussiana.).

**EG6)** (a) A Lei de Gauss é válida para achar o campo elétrico num ponto próximo a um dipolo elétrico? Ela pode ser aplicada diretamente para este fim?

Nesta questão (EG6) pretendemos detectar a dificuldade DG1 (visão da Lei de Gauss como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria.), bem como o contexto de validade e utilidade da Lei de Gauss.

**EG7)** Comente sobre o que você acha do modo como as aulas vêm sendo ministradas.

**EG8)** Comente sobre as atividades de simulação utilizadas nas aulas sobre a Lei de Gauss, em termos de auxílio ao seu aprendizado.

**EG9)** Comente sobre a dinâmica das aulas (tarefas realizadas em grupo durante o período de aula), em termos de auxílio ao seu aprendizado.

**EG10)** Comente sobre o texto de apoio enfocando a Lei de Gauss.

## **Entrevista 2**

A segunda entrevista (Entrevista 2), abordou a Lei de Ampère tendo como base cinco questões elaboradas a partir das dificuldades apresentadas na Tabela 6.1 e três perguntas relativas à abordagem didática utilizada. Apresentamos na seqüência as oito perguntas que serviram como apoio para a Entrevista 2, e as dificuldades (Tabela 6.1) que fundamentaram a elaboração das questões sobre a Lei de Ampère. As questões EA2 e EA4 foram adaptadas de Guisasola et al. (2003).

**EA1)** Escreva a Lei de Ampère na sua forma integral, interprete-a fisicamente e fale sobre ela, isto é, diga tudo o que puder sobre essa lei. Exemplifique sua explicação, discuta o seu significado físico, faça uso de desenhos ou diagramas se necessário.

A primeira pergunta (EA1) foi formulada com o objetivo de detectar alguma das dificuldades mostradas na Tabela 6.1 no geral, e em particular a dificuldade DA1 (visão

da Lei de Ampère como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria).

**EA2)** Considere um sistema formado por dois fios retos, “infinitamente longos” conduzindo as correntes elétricas  $i_1$  e  $i_2$ , respectivamente. Os fios estão separados entre si por uma distância “d”, conforme mostra a Figura 6.6. Um estudante afirma que podemos aplicar a Lei de Ampère para determinar o campo magnético resultante no ponto “A”, sobre um percurso fechado de integração circular de raio “R”, centrado e envolvendo apenas o fio 1. Deste modo o campo magnético resultante em “A” é dado pela expressão

$B_A = \frac{\mu_0}{2\pi R} i_1$ . Você concorda com este estudante? Justifique sua resposta.

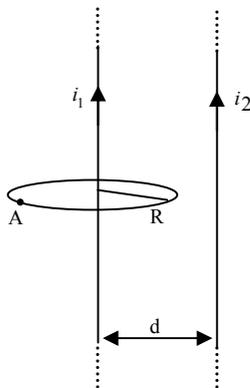


Figura 6.6 – Dois fios retos, infinitos, paralelos, separados por uma distância “d” e conduzindo correntes elétricas constantes no mesmo sentido.

Nesta questão (EA2) nosso objetivo foi detectar se o aluno apresenta a dificuldade DA3 (o campo magnético referido pela Lei de Ampère é devido somente às correntes internas à linha amperiana).

**EA3)** A Figura 6.7 mostra a seção transversal de três fios retos longos conduzindo corrente com mesma intensidade, onde  $i_1$  e  $i_2$  conduzem corrente elétrica “saindo” e  $i_3$  “entrando” no plano da página, para três diferentes laços amperianos e um ponto genérico “A” sobre cada um deles. O que pode ser dito sobre o campo magnético resultante no ponto “A”, para cada situação apresentada?

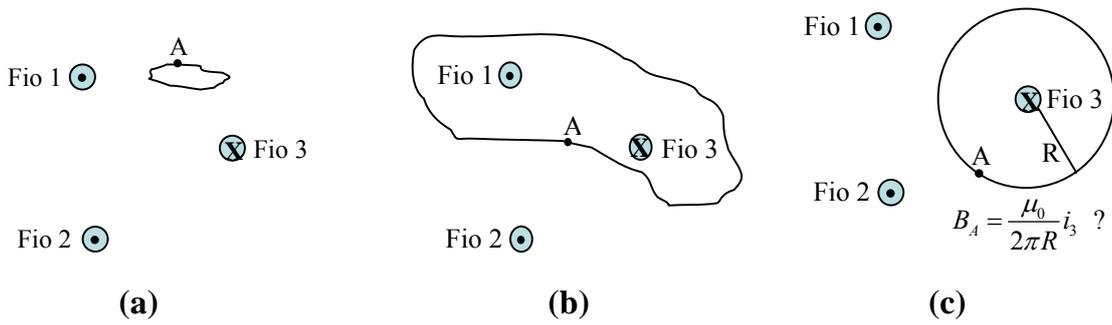


Figura 6.7 – Seção transversal de três fios retos longos conduzindo corrente e um laço amperiano: (a) não envolvendo os fios; (b) envolvendo os fios 1 e 3; c (c) envolvendo apenas o fio 3, sendo mostrada a expressão para o campo magnético resultante num ponto “A” a uma distância “R” deste fio.

Esta questão foi formulada de modo a observarmos a ocorrência da dificuldade DA4 (confusão entre campo magnético e circulação do campo magnético), abordada nos itens (a) e (b) e da dificuldade DA3 (o campo magnético referido pela Lei de Ampère é devido somente às correntes internas à linha amperiana) relacionada ao item (c).

**EA4)** Considera um solenóide infinito no qual circula uma corrente elétrica  $i$ . Como sabes, se pode calcular o campo magnético no interior do solenóide utilizando a Lei de Ampère, empregando uma curva de integração como mostra a Figura 6.8. **(a)** Quem gera o campo magnético resultante no ponto “A”. **(b)** A corrente elétrica envolvida pelo laço amperiano é igual a  $i$ ?

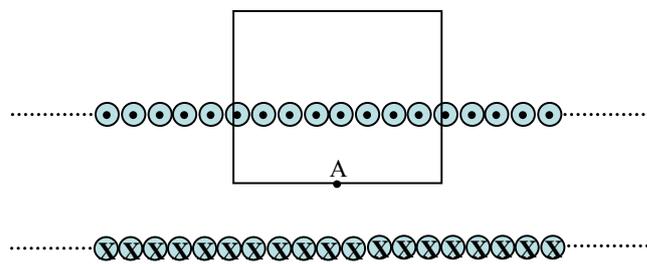


Figura 6.8 – Vista em corte de um solenóide ideal infinito, com uma região envolta por uma curva de integração retangular.

Para a questão (EA4) tivemos como meta detectar a dificuldade DA3(o campo magnético referido pela Lei de Ampère é devido somente às correntes internas à linha amperiana).

**EA5)** Poderíamos aplicar a Lei de Ampère para calcular o campo magnético resultante no ponto “A”, próximo a um fio reto longo conduzindo corrente com intensidade constante (Figura 6.9), mas que alterna o seu sentido com o tempo, e obter a expressão  $B_A = \frac{\mu_0}{2\pi R} i$ ?

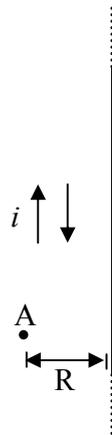


Figura 6.9 – Fio reto longo conduzindo corrente variável.

A dificuldade que buscamos detectar na questão EA5 foi aquela observada em nosso Estudo II, referente ao contexto de validade da Lei de Ampère (DA5).

**EA6)** Comente sobre as atividades exploratórias de simulação utilizadas nas aulas sobre a Lei de Ampère, em termos de auxílio ao seu aprendizado.

**EA7)** Comente sobre a atividades exploratória de modelagem, envolvendo a Lei de Ampère, utilizada em conjunto com o diagrama AVM, em termos de auxílio ao seu aprendizado.

**EA8)** Comente sobre a seção do texto de apoio que abordou a Lei de Ampère.

As entrevistas duraram aproximadamente 25 minutos cada, e foram feitas gravações do áudio para análises posteriores. Antes da entrevista foi solicitado aos alunos

que respondessem as questões da maneira mais espontânea possível, foi explicado que não fazia parte da avaliação da disciplina e, ainda, que o entrevistador iria falar somente o necessário para o andamento da entrevista. Os alunos puderam também rabiscar à vontade para explicar suas idéias, o que serviu de material de apoio para o pesquisador na descrição e interpretação das entrevistas.

## Apresentação dos dados

Os resultados obtidos nas entrevistas 1 e 2, sobre a Lei de Gauss e a Lei de Ampère, respectivamente, com cada aluno, são apresentados na forma de tabelas com o objetivo de condensar as informações relevantes fornecidas pelos alunos, em resposta aos questionamentos feitos pelo entrevistador. Nas tabelas 6.2 a 6.12 são apresentados em português coloquial, fragmentos de falas dos alunos nas entrevistas 1 e 2.

Tabela 6.2 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 1.

<b>Aluno 1</b>	
Aos 21 anos de idade, está matriculado no curso de Licenciatura em Física e cursando a disciplina de Física III pela primeira vez. Já repetiu Cálculo I e Métodos Computacionais aplicados à Física. Não possui experiência didática e nem bolsa de iniciação científica.	
<i>Lei de Gauss – Entrevista 1</i>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 1:</b> <i>A Lei de Gauss diz que o campo é proporcional...depende da carga líquida na área, tipo [silêncio]...vai ser igual à carga líquida, quantidade de carga líquida que tu tem dentro da tua área e é isso.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> <i>Que área é essa?</i></p> <p><b>Aluno 1:</b> <i>Tipo uma esfera, um cilindro, tu vai ver tipo, aqui dentro tu vai ver que o campo elétrico vai ser proporcional à carga líquida aqui dentro.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> <i>O campo elétrico?</i></p> <p><b>Aluno 1:</b> <i>Sim.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> <i>O que é a carga líquida?</i></p> <p><b>Aluno 1:</b> <i>Tu vai escolher uma superfície imaginária e determinar a quantidade de carga que tem dentro dela e o campo é influenciado por todas as cargas...</i></p> <p><b>Entrev.:</b> <i>Como assim o campo é influenciado por todas as cargas?</i></p> <p><b>Aluno 1:</b> <i>Imagina que tu tenhas quatro cargas [desenhou quatro cargas pontuais, duas negativas e duas positivas] e envolva elas com uma coisa gaussiana [desenha</i></p>

	<p>uma superfície arbitrária envolvendo uma das cargas]. <i>A carga líquida vai ser essa aqui</i> [aponta para a carga envolvida pela superfície], <i>mas tipo, o campo aqui</i> [indica um ponto sobre a gaussiana] <i>vai ser influenciado por todas essas outras três cargas também.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> E quanto ao fluxo do campo elétrico?</p> <p><b>Aluno 1:</b> (...) <i>não vai ser proporcional à carga líquida dentro da superfície?</i></p> <p><b>Entrev.:</b> É o fluxo de quê?</p> <p><b>Aluno 1:</b> <i>De cargas.</i></p>
EG2	<p>a) (...) <i>devido a todas as cargas daqui</i> [apontando para a linha carregada]. <i>O campo é gerado por todas as cargas da linha.</i></p> <p>b) <i>As que estão dentro da gaussiana.</i></p>
EG3	<p>a) <i>Vai depender só do campo, mas como aqui</i> [apontando para o interior da superfície gaussiana] <i>é zero, vai ser zero... o fluxo vai ser zero porque a carga líquida vai ser zero.</i></p> <p>b) <i>Não necessariamente vai ser zero, porque o campo depende das cargas.</i></p>
EG4	<p>a) <i>A simetria das cargas.</i></p> <p>b) <i>É o fluxo de cargas.</i></p>
EG5	<p>a) <i>Tu vai ter que achar a carga líquida entre o a e o r</i> [o Aluno 1 traça um círculo de raio <math>r &lt; a</math>]</p> <p>b) <i>“a” menos “r” daria esta parte aqui</i> [desenhou e hachurou um círculo de raio <math>a &lt; r &lt; b</math>], <i>integrando de “a” até “r”... [a carga líquida] seria a carga desta partezinha aqui [área hachurada].</i></p> <p>c) <i>a carga líquida seria toda a carga [da casca esférica] e aí é só calcular na integral.</i></p>
EG6	<p>a) <i>Ela [a Lei de Gauss] é válida para tudo.</i></p> <p>b) <i>Não sei.</i></p>
EG7	(...) <i>achei legal, tipo, tu dá na sala de aula os exercícios para a gente resolver ali, é legal (...)</i>
EG8	<i>Não gosto de computador. É legal [as atividades] só que eu tenho pavor de computador, mas é legal assim. Expõe o que tá acontecendo, aquilo que a gente tá estudando, é mais prático. No computador tu consegue, tipo, vê o que tu deu, o que tu mostrou [relativo ao conteúdo abordado em sala de aula], como é que as cargas se comportavam... a área gaussiana, foi bom porque a gente visualizou.</i>
EG9	<i>É bom porque, tipo, o que eu não sei, tipo assim, errei um sinal, sei lá, o colega comenta: - olha tu só errou o sinal. E a gente corrige, pode corrigir na hora. É legal, tipo, porque se tu tem alguma dúvida, tipo, se fosse em casa por um sinal que tivesse errado, sei lá, um número que eu tinha esquecido ou botado errado teria dado tudo errado e eu teria que fazer tudo de novo e com o colega lá é mais prático, pra tu vê que só errou um sinal e não desistir, porque em casa tu faz um exercício, tu erra e não faz mais e ali não, tu discuti com o colega.</i>
EG10	[Não fez nenhum comentário]
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
Questões	<i>Fragmentos de respostas</i>
EA1	<p><b>Aluno 1:</b> <i>Bem, eu lembro que cargas em movimento geram campo magnético e a corrente elétrica também, e têm a integral</i> [escreve no papel <math>\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{liq}</math>] <i>onde a gente vai botar um laço e calcular.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Que laço é esse?</p> <p><b>Aluno 1:</b> <i>É imaginário né, tipo num fio tu vai fazendo o somatório dos campos nesse laço ao longo dessa área</i> [acompanha o contorno de um círculo desenhado em volta de um fio].</p>

	<p><b>Entrev.:</b> Esse laço, ele é o quê? Uma área, uma linha, um volume?  <b>Aluno 1:</b> <i>Uma linha, é uma linha.</i>  <b>Entrev.:</b> O que é corrente líquida?  <b>Aluno 1:</b> <i>É a corrente total no fio. Se eu tivesse dois fios passando no mesmo laço e as correntes fossem para o mesmo lado ia ser “2i”.</i></p>
<b>EA2</b>	<i>Não pode usar direto, porque o campo magnético aí [apontando para o ponto “A”] é influenciado por esta também [apontando para a corrente no fio 2]. O campo magnético é influenciado por todas as cargas, quero dizer correntes. Acho que não dá para aplicar direto.</i>
<b>EA3</b>	<p>a) <i>O campo não ia ser zero, porque aqui vai ser toda a integral, a integral de linha, que vai ser zero, mas não quer dizer que o campo também vai.</i></p> <p>b) <i>A integral vai ser zero, mas o campo não quer dizer que seja zero.</i></p> <p>c) <i>Vai ficar a integral com o cosseno de theta e vai chegar nessa fórmula sim... Não, não vai não, o campo aí [ponto “A”] vai depender de todas as correntes.</i></p>
<b>EA4</b>	<p>a) <i>Vai ser devido a toda corrente do solenóide.</i></p> <p>b) <i>A corrente líquida é o próprio “i”.</i></p>
<b>EA5</b>	<p><b>Aluno 1:</b> <i>Ela não é válida porque as cargas uma hora estão positivas e na outra negativas e a Lei de Ampère é só quando a corrente é estável, não muda.</i>  <b>Entrev.:</b> Cargas?  <b>Aluno 1:</b> <i>Não, me enganei, é correntes.</i></p>
<b>EA6</b>	<i>Eu gostei, tudo é válido para aprender, porque se tu vê uma vez só, tu viu uma vez só, mas tipo, se tu foi lá, mexeu, viu, deu errado, e tu fez de novo.</i>
<b>EA7</b>	<p><b>Aluno 1:</b> <i>Achei complicado o Vê. Eu nunca tinha feito, achei complicado tu ver os teus erros e depois voltar e fazer de novo e aí acertou...</i>  <b>Entrev.:</b> O que especificamente tu achaste complicado?  <b>Aluno 1:</b> <i>Quando nós tivemos que ver qual que era o erro e mudar o modelo. Acho que ele é útil até para mim aprender a fazer outros vês.</i>  <b>Entrev.:</b> Serviu para tu aprenderes Física?  <b>Aluno 1:</b> <i>Serviu, eu não tinha visto que a corrente líquida já estava na fração e depois de tanto de trabalhar com a simulação eu vi.</i></p>
<b>EA8</b>	<i>Bem melhor do que aqui lá do Halliday, eu não gosto do Halliday, porque ele é muito complicado. Gostei mais do texto de apoio, porque ele é mais “corrido” mais exemplificado. Explica melhor.</i>

Tabela 6.3 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 2.

<b>Aluno 2</b>	
Aos 23 anos de idade, está matriculado no curso de Licenciatura em Física e cursando a disciplina de Física III pela primeira vez. Já repetiu Equações Diferenciais e Física II, o que atribui à falta de dedicação. Não possui experiência didática e nem bolsa de iniciação científica.	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 2:</b> <i>Lei de Gauss é uma forma simples de calcular o campo elétrico em alguma situação. Simples, se for um número de partículas conhecidas. A gente pode calcular o campo em torno de n partículas conhecidas.</i>  <b>Entrev.:</b> Qual o significado físico desta lei?</p>

	<p><b>Aluno 2:</b> Não sei responder.</p> <p><b>Entrev.:</b> Quais são os principais conceitos relacionados à Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 2:</b> Carga líquida, ou seja, o somatório das cargas positivas e negativas de um sistema. Tem o conceito de campo, que toda carga vai gerar um campo elétrico em torno de si e o campo pode ser calculado tendo uma carga, oops, duas cargas em questão. Uma única carga não tem como determinar o campo.</p> <p><b>Entrev.:</b> Como assim não tem como determinar o campo?</p> <p><b>Aluno 2:</b> Não se sabe, a princípio se a carga é negativa ou positiva e portanto é necessário uma carga de teste.</p> <p><b>Entrev.:</b> E quanto ao conceito do fluxo de campo elétrico?</p> <p><b>Aluno 2:</b> Fluxo de campo diz respeito da intensidade do campo. Qual intensidade do campo poderia ser medida, ou melhor definida pelas linhas de campo que cruzam uma determinada área do espaço.</p> <p><b>Entrev.:</b> E o que é uma superfície gaussiana?</p> <p><b>Aluno 2:</b> É uma área que delimita uma região do espaço e se tiver uma carga dentro da superfície gaussiana, a gente tem como calcular o campo em toda a superfície. Se a carga for pontual e estiver no centro de uma superfície esférica é relativamente simples achar o campo em qualquer ponto da superfície.</p>
EG2	<p>a) Embora não tenha carga no interior da superfície, o campo vai estar dependendo de toda a carga, independente se vai estar dentro ou fora da superfície.</p> <p>b) O campo elétrico [no ponto “a”] é devido às cargas que estão por toda a extensão do fio.</p>
EG3	<p><b>Aluno 2:</b> O campo elétrico é nulo. Todas as linhas de campo que entrarem nesta superfície vão estar saindo e a carga líquida no interior [da superfície gaussiana] também é zero.</p> <p><b>Entrev.:</b> Então eu posso colocar uma carga de prova num ponto sobre a superfície gaussiana que não vai atuar nenhuma força elétrica sobre ela?</p> <p><b>Aluno 2:</b> Ah, tá o campo elétrico não é nulo. O que é nulo é o fluxo do campo elétrico.</p>
EG4	<p>a) A simetria das linhas do campo.</p> <p>b) De linhas, de linhas de campo.</p>
EG5	<p>a) Em todos os três casos [<math>r \leq a</math>; <math>a &lt; r &lt; b</math> e <math>r \geq b</math>] é interessante desenhar uma superfície esférica concêntrica com a casca esférica [o Aluno 2 traça três superfícies gaussianas, uma para cada item]. Para <math>r \leq a</math>, como não há carga líquida no interior da superfície o campo vai ser igual a zero.</p> <p>b)</p> <p><b>Aluno 2:</b> Para um raio entre “a” e “b”, sendo que a densidade é constante de carga, é só fazer o somatório de todas estas cargas [aponta a região entre os raios “a” e “r”] do interior da superfície.</p> <p><b>Entrev.:</b> E quanto à carga líquida dentro desta superfície gaussiana (“<math>a &lt; r &lt; b</math>”)?</p> <p><b>Aluno 2:</b> É só somar, ou melhor encontrar a área, tu tem a área da esfera no interior desta superfície e multiplicar pela densidade [volumétrica de cargas].</p> <p>c) Conhecida a densidade volumétrica de cargas é só multiplicar pela área da gaussiana, sendo que temos que considerar a área deste buraco dentro da esfera.</p>

<b>EG6</b>	a) <i>Eu acho que não é válido para este caso, porque se traçássemos uma superfície [aponta para a gaussiana da Figura 6.4 (EG3)], a gente poderia calcular o campo sobre qualquer ponto desta superfície, mas ia ser bastante complicado ia estar sofrendo conseqüências das duas cargas. Se envolvesse as duas cargas o fluxo seria zero, mas o campo não neste ponto [ponto “a” da Figura 6.4 (EG3)] é melhor tratar cada partícula como uma carga pontual, achar o campo devido a cada uma das duas partículas neste ponto e fazer o somatório por superposição. Mas pela Lei de Gauss não vai ser tão simples assim, apesar dela ser válida para qualquer situação.</i>
	b) <i>Não, não dá.</i>
<b>EG7</b>	<b>Aluno 2:</b> <i>Acho interessante e isso é bem aplicável porque a turma é pequena, e dá para acompanhar de perto o aluno e ver acompanhar a dificuldade de cada um. É muito válido, um método construtivista bem aplicável, mas em turmas pequenas, se a turma fosse de 30 alunos por exemplo não ia dar para acompanhar tão de perto.</i>
	<b>Entrev.:</b> <i>O que tu queres dizer com “método construtivista”?</i> <b>Aluno 2:</b> <i>É o método do acompanhamento do aluno, por exemplo, existem professores que dão a matéria de uma forma geral não sei como eles avaliam assim, no dia-a-dia o desempenho das turmas, se é pelas perguntas. (...) É bom esse método [realização de tarefas em grupo em sala de aula], porque qualquer dúvida que o aluno tenha esclarece ali na hora com o professor ou com os colegas e não vai para casa com dúvidas.</i>
<b>EG8</b>	<i>Achei ótimo, a gente não tem que imaginar muita coisa assim. Às vezes o professor desenha uma situação no quadro e o aluno não entende tudo que vem depois porque não entendeu o desenho e no computador fica bem mais fácil de perceber. Não acho que tenha desvantagens usar o computador.</i>
<b>EG9</b>	<i>É muito válido, porque geralmente os colegas têm uma forma mais simples de explicar mais fácil do aluno entender pela explicação do colega do que do professor, então o trabalho em grupos torna mais produtiva a aula.</i>
<b>EG10</b>	<i>Achei fácil de ler e mais explicado aquilo que o aluno tem dificuldade de entender.</i>
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
<b>Questões</b>	<b>Fragmentos de respostas</b>
<b>EA1</b>	<b>Aluno 2:</b> <i>O laço amperiano é um caminho fechado, uma linha, e a integral do campo é igual à soma de infinitas partes desse campo sobre o laço é proporcional à carga líquida, ou melhor, a corrente líquida. Corrente é o movimento ordenado de cargas, corrente líquida é o somatório deste movimento ordenado. Por exemplo, se tiver “n” fios transportando corrente, vai ser o somatório sobre todos estes fios.</i>
	<b>Entrev.:</b> <i>Qual é o significado físico da Lei de Ampère?</i>
	<b>Aluno 2:</b> <i>Significa que carga gera campo, ou melhor, que corrente gera campo magnético.</i> <b>Entrev.:</b> <i>E quanto à validade da Lei de Ampère, o que podemos dizer?</i> <b>Aluno 2:</b> <i>Ela é sempre verdadeira, mas nem sempre é útil, ou seja, quando não há simetria no problema, por exemplo quando o campo não for constante ao longo do laço amperiano (...)</i>
<b>EA2</b>	<i>Não, não pode, porque o ponto ai nesse ponto “A” vai ter relação com esse outro [aponta para o fio 2] transportando corrente.</i>
<b>EA3</b>	<i>a) Não vai ser possível calcular o campo com a Lei de Ampère ai [ponto “A”]. O melhor para calcular o campo seria ver a interação de cada um dos fios e fazer a superposição depois. Em relação ao laço, dá para dizer que a integral de “B.ds” vai ser zero ao longo desse laço porque não está envolvendo nenhuma corrente líquida, mas o valor da integral e não do campo que vai ser zero. O campo é devido às três correntes.</i>

	<p>b) De novo, o resultado da integral “<math>B \cdot ds</math>” ao longo desse laço vai ser zero, supondo que estes fios estão transportando uma mesma corrente, mas o campo vai ser devido aos três fios, às três correntes e não dá para concluir nada usando a Lei de Ampère, nada do que eu falei.</p> <p>c) Não pode expressar assim, porque tem que levar em conta todos os fios.</p>
EA4	<p>a) É devido a todas as voltas, desde a primeira até a última do solenóide.</p> <p>b) A corrente líquida vai ser igual a “<math>Ni</math>” e não só a “<math>i</math>” do solenóide.</p>
EA5	Tem aquele fator que é a variação do fluxo elétrico que não foi considerado ainda. Eu não sei responder se o campo elétrico variar a integral terá o mesmo valor.
EA6	Bom, da placa [AES1] gera um resultado esperado se houvesse um campo retilíneo, mas no caso não era muito bem representado, porque a placa não era infinita e o campo não era totalmente retilíneo. Pela segunda simulação [AES2] a gente viu como calcular o valor da integral, se a corrente líquida for igual a zero, ou seja, tem o mesmo número de corrente líquida entrando e saindo da página o valor da integral vai ser zero, mas não o do campo, e o último do solenóide [AES3] dá para ver que é na parte interior se observa um campo muito forte em relação ao externo, e esse campo vai depender da corrente. Eu acho que as atividades no geral me ajudaram a visualizar mesmo como são as linhas de campo e que às vezes a gente pode chegar a pensar que o valor da integral ser zero, o campo também será, o que não é correto, a simulação mostra isso. Tem o fator da interação também, a gente podia aumentar ou diminuir o tamanho do solenóide [AES3] ver como fica o campo, como se comporta, se aumenta ou diminui, variar a corrente também.
EA7	Uma coisa que eu vejo agora depois do diagrama AVM, nem todo o modelo a gente pode aceitar como válido, é bom interpretar ele e entender como está acontecendo, como está variando todos os fatores, as equações que eles estão utilizando. A gente tinha um resultado esperado que já havia sido previsto em aula [variação do campo magnético, produzido por um fio reto longo conduzindo corrente constante, em função da distância ao centro do fio], na aula teórica, quando a gente foi ver na simulação ela não estava correta e aí a gente reviu como estava a simulação e tinha alguns erros (...)
EA8	Achei bom, com alguns errinhos de digitação, mas está muito bom, fácil, compreensível...

Tabela 6.4 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 3.

<b>Aluno 3</b>	
Aos 24 anos de idade, está matriculado no curso de Bacharelado em Física e cursando a disciplina de Física III pela terceira vez. Já trancou várias disciplinas como Cálculo I, Equações Diferenciais e a própria Física III. Na primeira vez que a cursou, chegou a estudar a Lei de Gauss, mas não a de Ampère. Na segunda vez, desistiu na segunda semana de aula, argumentando que prefere deixar para fazer as disciplinas depois, do que fazê-las de qualquer jeito. Não possui experiência didática e nem bolsa de iniciação científica.	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
Questões	Fragmentos de respostas
<b>EG1</b>	<b>Aluno 3:</b> O significado físico que eu tenho assim mais presente é a questão de que a carga gera um campo e através da expressão da Lei de Gauss se percebe que, quando tu tem uma carga ela tá gerando um campo e colocando sobre ela uma superfície tu terás o campo ultrapassando esta superfície, né, então

	<p><i>através disso, através dessa superfície se percebe que se passa o campo poderia achar uma expressão para facilitar o cálculo através da Lei de Gauss que diz que o campo que passa através dessa superfície é proporcional à carga líquida contida dentro desta superfície</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Quando a Lei de Gauss é válida?</p> <p><b>Aluno 3:</b> <i>Ela é válida sempre. Ela pode às vezes não te facilitar [os cálculos], mas ela é válida.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Em relação ao conceito de carga líquida. O que vem a ser isto?</p> <p><b>Aluno 3:</b> <i>Bem, a carga é uma propriedade da matéria e se percebe que ela pode ser positiva ou negativa, que daí se percebe através da questão de que ela, de que as cargas iguais se repelem e as diferentes se atraem, isto são propriedades das cargas e sendo assim tu tens a carga líquida da soma algébrica delas e isso é carga líquida (...) se tu colocar uma superfície gaussiana, que é imaginária e pode ter qualquer forma em volta de algumas cargas, a carga líquida seria a soma algébrica destas cargas.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> E o que vem a ser “Fluxo do campo elétrico”?</p> <p><b>Aluno 3:</b> <i>Fluxo do campo elétrico, seria, pra Lei de Gauss, a simples passagem das linhas de campo dentro da superfície. Não seria a passagem destas linhas como se elas tivessem fluindo e sim a simples permanência destas linhas atravessando a superfície.</i></p>
<b>EG2</b>	<p><b>a)</b> <i>O campo elétrico seria gerado por todas as cargas da linha. (...) o campo é devido a todas as cargas que tu tens no sistema e não só aquelas que estão no interior da superfície gaussiana.</i></p> <p><b>b)</b> <i>O campo seria devido a todas as cargas que a gente tá envolvendo no sistema e não só as de dentro [da superfície gaussiana].</i></p>
<b>EG3</b>	<p><b>a)</b> <i>E o fluxo através da superfície é zero, porque todas as linhas que entram na superfície saem do outro lado.</i></p> <p><b>b)</b> <i>O campo elétrico na superfície seria o campo gerado pelas duas cargas pela superposição do campo e não seria zero.</i></p>
<b>EG4</b>	<p><b>a)</b> <i>A simetria das linhas.</i></p> <p><b>b)</b> <i>fluxo do campo, das linhas do campo.</i></p>
<b>EG5</b>	<p><i>Para resolver este problema eu escolheria uma superfície gaussiana que o centro dela estaria no centro da esfera [casca esférica], e iria aumentando esta superfície gaussiana, primeiro para dentro desta cavidade de dentro [região onde “<math>r &lt; a</math>”] colocaria esta superfície gaussiana no interior dela para calcular este campo ao longo desta superfície. Para “<math>a &lt; r &lt; b</math>”, seria a soma, a soma algébrica. Sabendo a densidade volumétrica se calcula através do volume, se integra através deste volume [apontando para a região onde “<math>a &lt; r &lt; b</math>”] e se tem a carga líquida. Para fora da casca esférica a carga líquida é toda a carga da esfera [casca esférica].</i></p>
<b>EG6</b>	<p><b>a)</b> <i>Sim, ela é válida sempre.</i></p> <p><b>b)</b> <i>(...) a superfície gaussiana pode ser qualquer superfície, só o problema é que não acharia uma superfície que tu poderia tirar o campo para fora da integral, porque ele sempre estaria variando o ângulo dele em relação à superfície.</i></p>
<b>EG7</b>	<p><i>A grande diferença agora das outras vezes que eu comecei a disciplina, que eu tô vendo assim, é que a turma tá muito mais participativa. A coisa assim tá indo conforme as pessoas mesmo, tão conseguindo avançar, tão conseguindo ir. Tem um, assim, um trânsito entre todo mundo na sala, a participação de todo mundo, então não tem assim uma coisa que alguém sabe, e sim que tá todo mundo indo junto desenvolvendo o raciocínio ao mesmo tempo. Acho que a coisa tá indo mais devagar, mas a gente tá</i></p>

	<i>saindo dali sabendo a coisa.</i>
<b>EG8</b>	<i>Eu achei bem legal, inclusive a minha dificuldade de ver que o campo é gerado por todas as cargas do sistema e não só pelas interiores [à superfície gaussiana] foi bem claro na hora que a gente foi para frente do computador. A questão dos campos é muito mais fácil visualizar, quando tu tem algo mais material assim, tu consegue visualizar e facilita um monte na hora de tu ir resolver um problema e pensar em cima de algum problema ou uma coisa teórica não fica tão abstrato. Eu acho que isso é fundamental para entender.</i>
<b>EG9</b>	<i>Eu acho bom trabalhar em grupo, porque quando tu tem dificuldade tu sempre tem com quem conversar, tu tem com o que comparar e quando tu estuda sozinho às vezes tu tranca em alguma coisa e não tem como continuar porque tu não tem como comparar com outra coisa tu não tem como ver como o outro fez e daí muitas vezes tu acaba copiando os exercícios o que não te traz benefícios assim. No grupo, mesmo que tu copie alguma coisa tu podes ir discutindo como a pessoa fez, ou melhor, tu não simplesmente copia, mas pergunta como o colega fez e trabalhando em aula tu também tem a chance de pedir esclarecimento para o professor quanto a dúvida surge.</i>
<b>EG10</b>	<i>Eu achei super bom, ainda mais quando ele vem preparado para a aula que a gente vem tendo. Naquele material que tu passou para a gente facilitou um monte, porque já vem numa linguagem, numa dinâmica da aula que tu tá fazendo. Às vezes quando tu vai para o livro ele encara de outra maneira a matéria, mas eu sei que a gente tem que aprender a interpretar as coisas e procurar em mais de um livro, mais de um lugar e não ficar de repente trancado porque o professor explicou de um jeito, mas na hora que tu vai ler tá de outro.</i>
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
<b>Questões</b>	<b>Fragmentos de respostas</b>
<b>EA1</b>	<i>A Lei de Ampère nos dá uma relação que diz que a circulação do campo magnético vai ser diretamente proporcional à carga líquida. Corrente líquida, não é carga. A Lei de Ampère só é válida para corrente constante. Ela também nos diz que a integral do produto interno do campo magnético e uma superfície amperiana, e uma superfície..., não, não é uma superfície, é um caminho arbitrário e imaginário, um laço amperiano e a relação deste produto interno neste caminho é proporcional à constante de permeabilidade vezes a carga líquida, carga não, corrente líquida contida nesta região do laço.</i>
<b>EA2</b>	<i>Pode usar a Lei de Ampère e chegar nessa relação sim. O campo é influenciado neste ponto [ponto A] pelas duas correntes, mas a gente pode calcular usando a corrente envolvida pelo laço. [Depois de algum tempo em silêncio o Aluno 3, reformulou sua resposta] (...) só uma coisa assim, neste caso aqui, eu não tenho certeza se o campo sai da integral, porque a gente não tem simetria para tirar ele para fora desta maneira, de repente a gente consegue..., não, não consegue a gente vai ter uma curvatura neste campo e não consegue tirar o campo para fora da integral direto. Acho que no final não dá para resolver desta forma.</i>
<b>EA3</b>	<i>a) A Lei de Ampère vai ser válida, mas nesse caso não vai facilitar muito para a gente resolver esse campo, porque a integral vai ser zero neste caso, mas isso não quer dizer que o campo seja zero, a circulação nesse sistema vai ser zero e não vai te ajudar a resolver o campo neste problema.</i>
	<i>b) Pela Lei de Ampère vai ter carga líquida, na verdade, vai ter... se as correntes forem iguais vai ser zero, mas de novo não significa que o campo vai ser zero também.</i>

	<i>c) Não pode, por causa da simetria, porque as outras duas correntes vão curvar o campo ali. Se fosse só essa corrente devido ao fio 3, que está dentro do laço amperiano que a gente tivesse contando no sistema daí a gente teria uma simetria circular e daria para resolver tranquilamente desta maneira, mas como a gente está considerando mais duas correntes o campo vai ser curvado por estas correntes e não daria para resolver desta forma.</i>
<b>EA4</b>	<i>a) É gerado por todo o solenóide. b) Seria devido a toda corrente que está passando por este laço, teria que considerar quantas voltas estão passando por ele.</i>
<b>EA5</b>	<i>Olhando para a fórmula, não vejo nenhum impedimento, mas não sei se não tem nenhum impedimento, porque a Lei de Ampère só é válida para corrente constante, e com a corrente mudando, ela não permanece totalmente válida ela precisa do correspondente ali da parte da equação da Lei de Maxwell (...).</i>
<b>EA6</b>	<i>Eu achei as atividades bem legais, elas elucidaram bem a utilização da Lei de Ampère, elas foram bem claras e tranquilas de se fazer. (...) no início teve aquela questão sobre a circulação ser zero e o campo não, mas daí foi só associar, lembrar de como foi feito para a Lei de Gauss. Quando a gente trabalha só em aula, por mais que a gente tente imaginar, desenhe e faça, a gente não consegue ter modelos dinâmicos e numa simulação com o computador tu consegue ter um modelo dinâmico e daí tu consegue deixar mais presente aquilo na tua cabeça, como é que realmente funciona, ou pelo menos que as teorias mostram que funcionam daquela maneira e tal e daí empiricamente se consegue ter aqueles resultados e daí se consegue ter no mínimo mais presente na cabeça quando a gente tem que resolver um problema onde a gente só tem como recurso imaginar como funciona as coisas, acho que ajuda ter trabalhado com o computador. Quando a gente só vê, também as chances de absorver aquela coisa, mesmo quando tu estás prestando atenção, tu acha que entendeu, mas de repente daqui a pouco tu vai realmente precisar resolver aquilo, usar aquilo e tu vê que tu não tinha percebido tudo. Mas no momento que tu mexe, tu pode interagir com o que tu estás fazendo tu tens a possibilidade de ver a tua dificuldade e ali naquele momento ver aonde tu vais travar e precisar de uma ajuda.</i>
<b>EA7</b>	<i>Eu acho que foi bem legal aquela atividade ali [construção do diagrama AVM] por uma questão de não ter que só pegar um sistema e responder algumas perguntas, mas sim ter que investigar ele, ter que realmente trazer tudo aquilo que a gente sabia já, que a gente tinha estudado e depois verificar, ver se estava dando OK mesmo com o modelo e em caso contrário ter que consertar ele e fazer ele funcionar realmente como a gente esperava que funcionasse como empiricamente ele deveria funcionar. Com certeza o diagrama AVM ajudou a entender a questão física, por uma questão da gente ter que buscar a história da teoria e depois, praticamente, conseguir testar se ela iria mesmo funcionar. Depois a gente teve que fazer algumas alterações nas condições que a gente tinha que ter para que aquilo funcionasse. O conflito que teve entre a visão que a gente tinha e a visão que a gente obteve no final, eu acho que isso ajudou bastante a deixar bem presente a matéria e as coisas que a gente estava vendo. Em linhas gerais tu tem que checar o que tu sabe, a maneira que tu espera com que as coisas aconteçam e depois através da simulação, testar para ver se isso está acontecendo mesmo, senão estiver tu que vai ter que verificar porque, tu vai ter que investigar e isso ajuda a deixar cada vez mais presente e mais tranquilo tu tratar com os problemas.</i>
<b>EA8</b>	<i>Eu achei ele um texto bem bom, bem prático, assim, com uma linguagem fácil de entender, ele é bem no modelo que a gente está estudando, então ajuda um monte. Nem cheguei a pegar o Halliday, porque consegui entender no texto e não tive dificuldade para ter que pegar outro livro para entender.</i>

Tabela 6.5 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 4.

<b>Aluno 4</b>	
<p>Aos 22 anos de idade, está matriculado no curso de Licenciatura em Física e cursando a disciplina de Física III pela primeira vez. Já repetiu várias disciplinas, como Física II, Cálculo I e Álgebra Linear. Credita isto ao fato de estar trabalhando na época (em revelação de fotos) e não ter tido tempo de estudar. Não possui experiência didática e nem bolsa de iniciação científica.</p>	
<b>Lei de Gauss – Entrevista I</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 4:</b> <i>A Lei de Gauss, fala que o fluxo das linhas de campo dentro de uma determinada área imaginária e arbitrária tem que ser igual à carga sobre epsilon zero.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> E quanto ao significado físico?</p> <p><b>Aluno 4:</b> <i>É que ela ajuda a resolver problemas em que eu tenho uma distribuição de cargas, tipo uma esfera ou um cilindro, mas também a partir dela podemos chegar na Lei de Coulomb.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Qual são os principais conceitos envolvidos da Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 4:</b> <i>Eu lembro que o professor falou que uma parte principal era que cargas geram campo, não é isso?</i></p> <p><b>Entrev.:</b> O que é superfície gaussiana, carga líquida e fluxo do campo elétrico?</p> <p><b>Aluno 4:</b> <i>Fluxo seria, se existisse realmente um fluxo, seria o número de linhas de campo que cruzam uma determinada área imaginária e essa área gaussiana é uma área arbitrária que eu escolho e eu prefiro escolher de uma maneira que seja fácil de resolver o problema.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> E qual é o teu critério para escolher a forma da superfície gaussiana?</p> <p><b>Aluno 4:</b> <i>Se for uma carga pontual eu escolho uma esfera, se for uma esfera gerando um campo elétrico eu escolho uma esfera também. Para uma linha eu escolho um cilindro.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Por quê? O que faz com que tu escolhas entre uma forma ou outra?</p> <p><b>Aluno 4:</b> <i>A distância desta área tem que ser uniforme para todos os pontos [da superfície gaussiana]. E a carga líquida seria a carga total dentro da área gaussiana.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Qual a validade da Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 4:</b> <i>Ela vale sempre, mas nem sempre vale a pena usar. É melhor usar ela quando tem uma simetria no problema.</i></p>
<b>EG2</b>	<p><b>a)</b> <i>Não é zero.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Pelas cargas dentro da superfície gaussiana. (...) nesse caso as cargas fora não vão influenciar porque se eu traçar as linhas de campo aqui [esboça vetores perpendiculares à linha e apontando para longe da mesma], como é uma distribuição uniforme de cargas as linhas de campo vão sair em linha reta e nem todas vão influenciar neste ponto. Isso daqui não vai enxergar porque elas tão subindo e não passam pelo ponto.</i></p>
<b>EG3</b>	<p><b>a)</b> <i>A carga líquida é zero e o fluxo de campo ali dentro pode ser considerado zero, porque todas as linhas que entram [na superfície gaussiana] saem. Elas não ficam lá dentro nem saem [se originam] de lá de dentro nesta situação.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Não sei dizer quanto vale o campo elétrico, mas é gerado pelo dipolo e não é zero.</i></p>
<b>EG4</b>	<p><b>a)</b> <i>Pela simetria do problema, das linhas de campo</i></p> <p><b>b)</b> <i>Das linhas.</i></p>

EG5	a) <i>Vai ser zero [campo elétrico]. Eu traço uma esfera aqui como não tem nenhuma carga líquida, o fluxo vai ser zero.</i>
	b) <i>Como o formato [da superfície gaussiana] é aleatório eu traçaria uma esfera e seria devido apenas [fluxo do campo elétrico] devido só a estas cargas aqui, não as que tão pra fora da região. Pra calcular a carga líquida teria que calcular o raio do centro até aqui [apontando para o raio da gaussiana] menos esse daqui [raio “a”] (...)</i>
	c) <i>Fora seria devido à toda a distribuição de cargas.</i>
EG6	a) <i>É válida, mas não é aconselhável. Como é uma distribuição discreta de cargas seria mais aconselhável a Lei de Coulomb.</i>
	b) <i>Direto não, mas é válida sempre [Lei de Gauss].</i>
EG7	<i>As aulas elas ajudam bastante, principalmente as do computador porque a gente vê bem e tem a oportunidade de mexer e ver como aconteceria na realidade e o único problema é que a gente vê a matéria muito corrida, precisaria talvez de mais tempo, porque é muita coisa em pouco tempo.</i>
EG8	<i>Eu acho que ajuda [atividades de simulação] a poder observar o fato e poder analisar, mexer, tipo, quando nós trabalhamos com a Lei de Gauss nós conseguimos mexer na carga e ver quanto era o campo em cada ponto e ver casos que às vezes o professor não consegue passar na sala de aula, mas que ali no computador aparece alguma dúvida e aí já é resolvida.</i>
EG9	<i>Eu acho bom, embora eu prefira trabalhar individualmente, mas quando eu estou trabalhando em grupo, eu faço os exercícios individualmente e quando eu tenho uma dúvida então eu pergunto para o colega e depois eu pergunto para o professor. Eu acho interessante [realização de tarefas em sala de aula], mas talvez não precisasse tanto quanto a gente trabalha, cada pessoa é cada pessoa, mas eu pessoalmente preferiria fazer um exercício ou dois em aula e fazer mais em casa.</i>
EG10	<i>O texto é bem interessante e explica, a partir dali dá pra entender bastante até mesmo as questões que o professor pergunta [na presente entrevista], a questão da área ser arbitrária, aleatória, eu gostei bastante e é bem útil.</i>
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragments de respostas</i>
EA1	<b>Aluno 4:</b> <i>Eu achei a Lei de Ampère bem parecida com a Lei de Gauss, a corrente líquida é do mesmo jeito que a carga líquida na Lei de Gauss, o laço amperiano, seria como a superfície gaussiana, só que é só um laço, como diz o nome, um círculo, alguma coisa, é fechado, mas não é um sólido.</i>
	<b>Entrev.:</b> <i>Qual é o significado físico da Lei de Ampère?</i>
	<b>Aluno 4:</b> <i>Que corrente gera campo magnético.</i>
	<b>Entrev.:</b> <i>Qual é a validade da Lei de Ampère?</i>
	<b>Aluno 4:</b> <i>Ela é verdadeira desde que a corrente seja constante, se não for constante, o que vale é a Lei de Ampère-Maxwell. A Lei de Ampère é um caso particular da Lei de Ampère-Maxwell.</i>
EA2	<i>Não, porque o campo ainda contém a influência da segunda corrente do outro fio.</i>
EA3	a) <i>Podemos dizer que o campo pode não ser nulo, mas a integral de linha vai dar zero. O campo no ponto “A” é devido a corrente nos três fios.</i>
	b) <i>Ele pode não ser zero como o outro, apesar da carga líquida, quer dizer da corrente líquida ser zero. É a integral do campo que vai ser.</i>
	c) <i>Esse é o campo magnético só do fio 1 na equação tem considerar o outro fio.</i>
EA4	a) <i>Por todo o solenóide.</i>
	b) <i>A corrente líquida é devido ao número de fios que atravessa o laço vezes a corrente do solenóide.</i>

<b>EA5</b>	<i>Não, por que esse “i” vai variar também o sentido do campo magnético.</i>
<b>EA6</b>	<i>Sempre ajuda ver, não só o professor explicando. Lembro no caso dos fios [AES2] poder traçar o laço amperiano e ver que a integral vai dar zero...sei lá, sei que ajuda. O fato de tu poder não só estar ouvindo o professor falar, escrevendo fórmulas, tu vendo ali na tua frente o fenômeno “acontecer”, entre aspas porque não é real, é virtual. É bom também porque o aluno pode mexer e ver ali o que está acontecendo.</i>
<b>EA7</b>	<i>Eu achei mais ou menos, foi importante para conhecer a ferramenta, mas eu não pude aprender muito em cima daquilo ali. Foi difícil entender o que cada campo significava, durante o negócio eu mais olhava o que estava pronto e comparava em relação a nossa situação. Eu não entendia direito, mas tentei preencher assim mesmo. Não aconselho a usar com outras turmas no tempo que a gente teve só se for com mais tempo.</i>
<b>EA8</b>	<i>Eu não tô lembrando do que eu li direito.</i>

Tabela 6.6 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 5.

<b>Aluno 5</b>	
<p>Aos 20 anos de idade, está matriculado no curso de Bacharelado em Física e cursando a disciplina de Física III pela primeira vez. Já repetiu as disciplinas de Cálculo I e Cálculo II e diz que isso aconteceu porque fez um ensino médio muito fraco e não conseguiu acompanhar. Não possui experiência didática e tem bolsa de iniciação científica na área de Astronomia. Atuou na monitoria da disciplina de Fundamentos de Astronomia.</p>	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 5:</b> <i>Falar em Lei de Gauss para mim, de imediato vem fluxo na minha cabeça, ver o fluxo que passa numa determinada região e nesta região tem toda aquela coisa da superfície gaussiana que a gente tem que adaptar a forma da superfície para facilitar os cálculos.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Qual o significado físico?</p> <p><b>Aluno 5:</b> <i>Falo uma associação da quantidade de linhas que estão atravessando a superfície e dependendo dessa quantidade e do ângulo nesta superfície [desenha uma superfície gaussiana esférica e os vetores campo elétrico e área diferencial sobrepostos apontando radialmente para fora].</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Qual é a validade da Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 5:</b> <i>Não sei responder.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> E o que é carga líquida?</p> <p><b>Aluno 5:</b> <i>É a carga total que está englobada na superfície gaussiana.</i></p>
<b>EG2</b>	<p><b>a)</b> <i>O campo elétrico não é zero ai [no ponto “a”] porque essa região está sobre a influência das cargas.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Todas as cargas, não. Só as que estão dentro da gaussiana.</i></p>
<b>EG3</b>	<p><b>a)</b> <i>O fluxo eu sei que é zero, porque a quantidade de linhas que está entrando é a mesma que está saindo. (...) Só tem espaço vazio que não contribui em nada.</i></p> <p><b>b)</b></p> <p><b>Aluno 5:</b> <i>Não sei, não tô conseguindo pensar...</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Tu podes dizer que o campo elétrico é zero no ponto “a”?</p> <p><b>Aluno 5:</b> [Silêncio] <i>Não sei.</i></p>
<b>EG4</b>	<p><b>a)</b> <i>Como estão as cargas.</i></p>

	<b>b) De linhas de campo.</b>
<b>EG5</b>	<p><b>Aluno 5:</b> <i>Eu pego uma superfície gaussiana com o formato de uma esfera, porque se adapta melhor, para cada raio que eu quero. Se eu tenho uma esfera eu uso uma esfera. Não me ia adiantar nada colocar um cubo, por exemplo. Daí tem que ver a quantidade de carga dentro de cada uma [das superfícies gaussianas]. Se tu pegar uma área maior vai ter mais cargas, uma área menor menos cargas [apontando para a região onde “<math>a &lt; r &lt; b</math>”] dependendo do que te interessa.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> O que eu devo fazer para considerar apenas a carga que interessa?</p> <p><b>Aluno 5:</b> <i>Não estou lembrada.</i></p>
<b>EG6</b>	<p><b>a) Pode usar para tudo, mas não vai ficar muito complicado para calcular o campo para um dipolo?</b></p> <p><b>b) Ela é válida para tudo, mas fica muito complicado de resolver com ela [Lei de Gauss] para o dipolo, não sei como fazer para adaptar [a superfície gaussiana] para aí.</b></p>
<b>EG7</b>	<i>Eu acho boas as aulas. Eu gosto da maneira como tu dá aula e depois a gente faz os exercícios. Das físicas [disciplinas de Física Geral] que eu tive é a que eu estou entendendo mais, que eu tenho mais noção da matéria.</i>
<b>EG8</b>	<i>As atividades me ajudaram bastante porque eu tenho dificuldade de ver as coisas abstratas e ali deu para ver, deu para enxergar. Eu sou muito visual, eu entendo as coisas vendo, fazendo, do que só ficar pensando imaginando, eu não consigo e pelo menos para mim me ajudou bastante. Eu consegui ver, enxergar. Deu para ver quando tem fluxo quando não tem. Acho que se não tivesse trabalho no computador eu ia entender menos do que agora, não que eu tenha entendido muita coisa [risos]. Eu tenho que estudar mais.</i>
<b>EG9</b>	<p><b>Aluno 5:</b> <i>Eu acho muito válido, porque se não fosse assim, tenho quase certeza de que ninguém ia fazer os exercícios, ninguém ia fazer nada e só uma semana antes da prova ia começar a fazer alguma coisa e fazendo em aula acaba ficando um pouquinho mais.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> E quanto ao trabalho em grupo?</p> <p><b>Aluno 5:</b> <i>É bom porque de repente tu não conseguindo enxergar alguma coisa e a outra pessoa enxerga e aí te diz. Te diz não, te mostra como fazer te auxilia e aí tu consegue.</i></p>
<b>EG10</b>	<i>Eu achei legal, porque o Halliday [livro de texto adotado na disciplina] não dá uma explicação ele dá uma coisa muito prática, e o texto deu mais teoria para a gente, acho que ficou bem mais fácil de entender.</i>
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
<b>Questões</b>	<b>Fragments de respostas</b>
<b>EA1</b>	<p><b>Aluno 5:</b> <i>A Lei de Ampère só é válida quando a corrente é constante, quando, por exemplo, uma corrente gera um campo. A Lei de Ampère-Maxwell não, ela vale sempre, tanto com corrente quanto fluxo, fluxo constante. A Lei de Ampère não, só leva em consideração a corrente. Quando a corrente é constante não tem fluxo, então ela não vale sempre, vale quando a corrente é contínua.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> O que é o laço amperiano?</p> <p><b>Aluno 5:</b> <i>É uma linha que quer envolver a região onde tu queres descobrir o campo magnético. Pode ter corrente, como pode não ter corrente lá dentro, tu escolhe aonde queres colocar a tua linha, mas é claro que tu vai querer colocar envolvendo alguma corrente.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> O que é corrente líquida?</p> <p><b>Aluno 5:</b> <i>É a corrente que passa, “passa” entre aspas. É a corrente que atravessa a área desse laço. Para ver a corrente líquida eu vou considerar os sinais delas, com o sentido do laço, vejo qual é o sinal das correntes e somo para achar a corrente líquida.</i></p>
<b>EA2</b>	<i>Pode, mas todas as correntes estão influenciando. O “B” da fórmula que eu tenho está</i>

	<i>considerando todas as correntes. Está implícito na fórmula que tu estás pegando o do fio 2 também.</i>
<b>EA3</b>	<b>a)</b> <i>Minha circulação no caso é zero, mas não quer dizer que o campo é zero. O campo está levando em consideração as três correntes.</i>
	<b>b)</b> <i>A corrente líquida é zero, mas não implica que o campo seja zero.</i>
	<b>c)</b> <i>Pode, porque toda a corrente “<math>i_3</math>” está dentro do laço e não só uma fração dela. A corrente que eu pego para colocar na expressão é essa daí [aponta para o fio 3], mas ela considera implicitamente os outros [fios].</i>
<b>EA4</b>	<b>a)</b> <i>O campo magnético aí [ponto “a”] é devido a toda a corrente.</i>
	<b>b)</b> <i>Não, tem que ver o número de voltas da espira que atravessa o laço.</i>
<b>EA5</b>	<i>Acho que sim, mesmo alterando o sentido da corrente, ela continua constante.</i>
<b>EA6</b>	<i>Me ajudaram bastante, porque eu consegui visualizar melhor o sentido do campo, da corrente, deu para visualizar melhor. Foi bom também porque a gente podia mexer, alterar algumas coisas. Ver o que acontecia, o que não acontecia. Não é só ficar ouvindo o professor falar como é que é. Tu podes mexer na simulação e entender melhor.</i>
<b>EA7</b>	<b>Aluno 5:</b> <i>Aí, quando tu mostrou aquilo [diagrama AVM] eu achei um tédio, mas depois que eu comecei a fazer eu achei bem interessante, bem legal. É uma forma de tu aprenderes mais, um exercício diferente. Me levou a pensar mais sobre a coisa, os princípios, o que estava sendo usado, o que não, o que levava em conta, o que não levava.</i>
	<b>Entrev.:</b> <i>O diagrama AVM te ajudou a aprender alguma coisa de Física?</i>
	<b>Aluno 5:</b> <i>Ajudou, não sei dizer o que exatamente.</i>
<b>EA8</b>	<i>Achei melhor que o livro, porque tem mais teoria, o livro é mais prático.</i>

Tabela 6.7 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 6.

<b>Aluno 6</b>	
<i>Aos 25 anos de idade, está matriculado no curso de Licenciatura em Física e cursando a disciplina de Física III pela primeira vez. Já repetiu várias disciplinas como Cálculo I, Cálculo II e Equações Diferenciais e atribui isso ao fato de ser muita matéria em pouco tempo para estudar. Já deu aula particular de Matemática e Física para alunos do ensino médio, mas nada formal. Não possui, nem possuiu bolsa de iniciação científica.</i>	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 6:</b> <i>A Lei de Gauss estabelece um campo elétrico numa forma bem básica na volta de um objeto que é a carga líquida. Essa forma, a gente pode escolher entre três: esferas, cubos e cilindros. Então a Lei de Gauss vai ser carga sobre epsilon, igual a integral fechado do campo elétrico versus “da” ou “ds”. Bom o “da” seria a área que a gente está considerando em questão, ou é uma área plana, ou também pode ser uma área cilíndrica, considerando a área do cilindro ou esférica. O campo elétrico vai ser sempre perpendicular a essas superfícies.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> <i>O que é carga líquida?</i></p> <p><b>Aluno 6:</b> <i>(...) estou me confundindo, deixa eu ver... se a carga líquida for positiva [desenha uma carga pontual positiva e a envolve com uma superfície gaussiana esférica] então as linhas de carga estão saindo e se fosse negativa as linhas do</i></p>

	<p><i>campo elétrico estão entrando na superfície. Bom, se essa região [desenha uma superfície gaussiana entre um dipolo sem envolver alguma das cargas] fica entre duas cargas positiva e negativa a carga resultante envolvida é zero. Tá, também se a superfície englobar a positiva e a negativa ao mesmo tempo a carga líquida vai ser zero.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Qual é a validade da Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 6:</b> <i>Bom, ela pode a princípio ser aplicada em todas as superfícies que tu consigas fazer os trâmites direitinho do cálculo. Aonde há uma superfície muito arbitrária ou difícil de calcular, não é impossível, mas é bem mais trabalhoso.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Nessa situação ela é válida?</p> <p><b>Aluno 6:</b> <i>Sim ela é válida.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Qual o significado físico da Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 6:</b> <i>Físico... é para calcular o fluxo que passa por ali, ou calcular a carga das placas, do que for.</i></p>
<b>EG2</b>	<p><b>a)</b> <i>O campo elétrico seria orientado para cima, e não seria zero e seria gerado por toda a linha de cargas.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Seria devido às cargas totais do fio.</i></p>
<b>EG3</b>	<p><b>a)</b> <i>O fluxo do campo elétrico que entra é o mesmo fluxo elétrico que sai. Então, é zero.</i></p> <p><b>b)</b> <i>O campo elétrico não é zero com certeza. Ele está atravessando. Está saindo do positivo e entrando no negativo e é devido a ambas as cargas.</i></p>
<b>EG4</b>	<p><b>a)</b> (...) <i>Depende do jeito que estão as cargas.</i></p> <p><b>b)</b></p> <p><b>Aluno 6:</b> <i>Fluxo de campo elétrico.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Não seria o fluxo de cargas?</p> <p><b>Aluno 6:</b> <i>Não, de cargas não. Eletromagnetismo, mas não há cargas em movimento. Elas criam um campo de força em volta delas e quando elas estão sozinhas o campo é circular [traça linhas radiais saindo de uma carga]. Se as cargas estiverem conjugadas uma negativa e uma positiva elas estão interagindo entre si, mas não são elas que se movimentam.</i></p>
<b>EG5</b>	<p><b>a)</b> <i>Bem, eu teria que calcular o volume do espaço oco, onde não existe carga lá a resultante do campo é zero.</i></p> <p><b>b)</b> (...) <i>vai ter que contar as cargas que estão dentro dessa superfície de Gauss. Para achar o campo.</i></p> <p><b>c)</b> <i>Vai ter que contar com toda a carga, ela vai se comportar como se fosse um ponto com uma carga negativa.</i></p>
<b>EG6</b>	<p><b>a)</b></p> <p><b>Aluno 6:</b> <i>Das duas[cargas] juntas?</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Sim, da configuração de dipolo.</p> <p><b>Aluno 6:</b> <i>É válida e teria que envolver uma carga ou a outra, pois as duas juntas dá o fluxo resultante zero. Tem que fazer para cada uma separada e conjugar os resultados para obter o campo elétrico resultante. Mas direto, eu não sei dizer qual seria a forma correta de usar a Lei de Gauss.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Como eu já disse, seria do campo, das linhas dele.</i></p>
<b>EG7</b>	<p><i>Bom as aulas são bem conduzidas e o que eu poderia ressaltar que a dinâmica é boa, fazendo exercícios e ai utilizando direto. Vamos dizer assim, o que acabamos de aprender dá um embasamento melhor para o aluno enxergar e até mesmo perguntar para o professor no caso de algum problema de entendimento. Os exercícios para fazer em aula também são bons, porque senão o pessoal não faz. Eu pessoalmente faço os exercícios, mas se não fosse na aula eu não ia fazer todos.</i></p>

EG8	<p>Bom, elas precisam um pouco mais de tempo até para digerir mais a questão de como tu pode utilizar, de como tu pode mexer com aquilo. Às vezes eu tenho dificuldade com isso, no laboratório [de informática]. Ali ele esclareceu a visão anterior que eu tinha do eletromagnetismo de antes, de como eu imaginava como as coisas estão acontecendo e eu acho que o auxílio da informática para poder perceber aquilo que a gente não enxerga é muito bom. Só que para ser melhor tinha que ser um trabalho não mais 'light', mas com um pouquinho mais de tempo, até pra gente se acostumar com o choque entre o que tu pensa e o que é real. E isso é muito interessante quando aconteceu ali, muitas coisas eu não tinha pensado ainda e a demonstração através do 'software' foi bem legal. (...) ajuda muito a visualizar a coisa e quem tem dificuldade de fazer isso a princípio ali poderia ter uma oportunidade de começar a raciocinar a matéria, mas não começar a pensar em termos de quantidade ou número, mas sim do que está acontecendo é o que eu basicamente me guio, eu basicamente me pergunto: - o que está acontecendo? A partir daí eu começo a resolver o problema, o que eu preciso resolver para desenvolver o problema. Ajuda sim [as atividades].</p>
EG9	<p>É bom, porque tem algumas situações onde eu não consegui enxergar, vamos dizer a solução do problema e o colega me deu um toque. O contrário também acontece. Acontece também uma interação entre o grupo enquanto ele [o grupo] trabalha.</p>
EG10	<p>Ele está bem formulado, apesar de eu não lembrar tanto, foi bem diferente do livro que é bom, mas às vezes complica, não é muito claro e pelo menos no material de apoio tinha uma clareza bem melhor que o livro.</p>
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
Questões	Fragmentos de respostas
EA1	<p><b>Aluno 6:</b> Bom, como a carga está em movimento ela gera campo, o campo é determinado através de um retângulo ou um círculo, se for um fio eu uso um círculo se for um solenóide eu uso um retângulo. Assim, a definição da Lei seria a integral fechada de "B.ds" seria <math>Mi</math> zero vezes "i", que seria a corrente líquida envolvida pelo laço amperiano.</p> <p><b>Entrev.:</b> O que vem a ser o laço amperiano?</p> <p><b>Aluno 6:</b> O laço amperiano seria uma linha imaginária, circular ou retangular para determinar o campo naquele ponto.</p> <p><b>Entrev.:</b> Essa linha poderia assumir outra forma?</p> <p><b>Aluno 6:</b> Poderia ter um fato arbitrário sim, qualquer formato, mas aí a integração vai ser mais difícil.</p> <p><b>Entrev.:</b> Do que depende a tua escolha para a forma da linha de integração?</p> <p><b>Aluno 6:</b> Dependendo se é um fio, se é um solenóide ou um toróide.</p> <p><b>Entrev.:</b> E se fosse uma outra configuração envolvendo vários fios, por exemplo?</p> <p><b>Aluno 6:</b> Se fosse calcular o campo total de todos os fios, vamos dizer, que atravessa a página teria que pegar um círculo maior, a fim de determinar o campo total. Eu escolhi o círculo por ser uma forma mais fácil de integrar.</p> <p><b>Entrev.:</b> O que é corrente líquida?</p> <p><b>Aluno 6:</b> A corrente seria quantos coulombs atravessam por segundo aquele fio, bem isso seria <math>dq/dt</math>. A corrente líquida é a corrente resultante.</p> <p><b>Entrev.:</b> Quando a Lei de Ampère é válida?</p> <p><b>Aluno 6:</b> Bem, se não for uma configuração muito louca, aí é válida, desde que seja comportadinhas as condições. Ela continua sendo verdadeira para casos comportados.</p>
EA2	<p>Podemos usar está fórmula sim. A corrente que passa pelo fio 1 é que gera o campo no ponto "A" sobre o laço.</p>

<b>EA3</b>	a) <i>Que o campo é zero, porque a corrente líquida é zero.</i>
	b) <i>Também é zero, porque a corrente que entra vai subtrair a corrente que sai e a corrente resultante, a corrente líquida vai ser zero, a não ser que as correntes não sejam iguais.</i>
	c) <i>Eu posso usar esta expressão para calcular o campo magnético naquele ponto porque ele vai ser proporcional à carga líquida. Quer dizer, a corrente líquida dentro do laço, no caso a corrente que passa no fio 3 e é dividida por <math>2\pi R</math>.</i>
<b>EA4</b>	a) <i>Toda a corrente que passa pelo solenóide.</i>
	b) <i>É igual sim.</i>
<b>EA5</b>	<i>Poderia, mas não teria um campo só para um lado, ele iria variar com a corrente e quanto mais rápido fosse a oscilação da corrente, o campo magnético tenderia a zero.</i>
<b>EA6</b>	<i>Aprender a gente aprende com elas, mas a gente precisa de mais tempo, né. Às vezes a gente necessita de mais tempo, independe até do professor querer explicar o máximo possível. Depende da gente "se tocar" em alguns assuntos, tentar compreender melhor, enxergar o que está acontecendo. A parte da informática ajuda a enxergar estes detalhes, mas ainda provoca muito conflito, porque tu ainda está organizando aquele conhecimento que tu estás adquirindo e que, vamos dizer assim, não é ter um tempo para relaxar, mas ter um tempo para poder mexer em termos de fórmula. Às vezes para responder ainda alguma pergunta, teria que ter tempo para a gente se perguntar. Se a gente não se pergunta, não chega a algo condizente com o que seria correto e isso as vezes demora muito tempo. Acho que as atividades forem úteis porque ela demonstra o que a gente ainda está organizando na cabeça e ajuda a gente a reforçar, e até mesmo questionar aquilo que tu estas aprendendo no sentido de que: - Ah, será que se eu fizer tal coisa o que vai acontecer? Se não der o que aconteceu? Seria bem interessante neste sentido, porque tu estás mexendo com algo que tu não vê (...)</i>
<b>EA7</b>	<b>Aluno 6:</b> <i>Eu achei interessante, eu ainda não conhecia o diagrama, só que a gente deveria ter construído o programa, porque na minha idéia a gente tem que partir da teoria, fazer a teoria ou até mesmo ali no papel ver como vai se comportar o que seria esperado (...)</i>
	<b>Entrev.:</b> <i>O diagrama AVM te ajudou a aprender alguma coisa?</i> <b>Aluno 6:</b> <i>Ajuda, mas como a gente não tem muito contato em fazer todo aquele padrão, ter que explicar, a gente sente muita dificuldade em ter que explicar aquela atividade ali em si e ter que resolver, mas com certeza se tu consegue fazer o diagrama, tu consegue responder muitas questões para a prova e para a vida também. A maior dificuldade é que a gente não está acostumado a descrever, excetuando as aulas de laboratório, alguns fenômenos físicos. Ali é um diagrama bem completo, não deixa nada escapar fora. Então, eu considero o diagrama completo, do ponto de vista se tu tiveres que responder alguma coisa ou se tu tiveres que fazer um experimento ou alguma coisa o diagrama seria bem completo na hora de responder algumas perguntas.</i>
<b>EA8</b>	<i>Eu achei bem feito, está explicativo, melhor do que o livro, mas eu acho que ainda falta alguma coisinha como o gráfico (...) [gráfico do campo magnético em relação a distância em relação ao mesmo, para o caso do fio reto longo conduzindo corrente constante].</i>

Tabela 6.8 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 7.

<b>Aluno 7</b>	
Aos 24 anos de idade, está matriculado no curso de Licenciatura em Física e cursando a disciplina de Física III pela segunda vez. Já repetiu várias disciplinas como Física I, Física II, Física III, Cálculo I, Álgebra Linear e Equações Diferenciais. Acha que de repente está no curso errado, porque percebe que devia estudar mais, mas não consegue se concentrar. Já deu aulas de Matemática e Física para alunos do ensino fundamental como voluntário, num projeto que atendia alunos carentes e também aulas particulares de Física para alunos do ensino médio. Não possui, nem possuiu bolsa de iniciação científica. Foi monitor do laboratório de informática.	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 7:</b> Bom, carga gera campo, isso ficou claro e monopolos não existem.</p> <p><b>Entrev.:</b> Monopolos?</p> <p><b>Aluno 7:</b> Sim, não existem monopolos magnéticos.</p> <p><b>Entrev.:</b> Do que trata a Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 7:</b> Bem, a Lei de Gauss diz que o campo elétrico vezes a área é igual ao fluxo.</p> <p><b>Entrev.:</b> Que fluxo?</p> <p><b>Aluno 7:</b> Fluxo das linhas de campo através de uma superfície gaussiana.</p> <p><b>Entrev.:</b> O que é uma superfície gaussiana?</p> <p><b>Aluno 7:</b> Uma superfície imaginária onde ela facilita o cálculo do fluxo.</p> <p><b>Entrev.:</b> Quando a Lei de Gauss é válida?</p> <p><b>Aluno 7:</b> Não sei dizer.</p> <p><b>Entrev.:</b> O que é carga líquida?</p> <p><b>Aluno 7:</b> Carga líquida seria a carga que está dentro da superfície gaussiana. Se tiver uma positiva e uma negativa elas se anulam e acaba sendo zero, se tiverem valores iguais.</p> <p><b>Entrev.:</b> Quando podemos aplicar a Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 7:</b> Eu acho que quase sempre. Se tiver uma Lei mais simples fica mais fácil, como a Lei de Ohm, por exemplo, mas acho que a Lei de Gauss é válida sempre, até para superfícies irregulares, mas acaba complicando o cálculo.</p>
<b>EG2</b>	<p>a) O campo seria devido a todo fio e seria o mesmo para cá, para cá e para cá [marca três pontos sobre colineares ao ponto “a” sobre a superfície gaussiana cilíndrica] e não seria zero.</p> <p>b) Todas as cargas, o campo é influenciado por todas as cargas do fio.</p>
<b>EG3</b>	Vai ser zero, pois a carga líquida é zero dentro da superfície gaussiana [Silêncio] (...) não vai ser zero não, agora que eu tracei a linha eu vi que o fluxo é que vai ser zero, porque uma linha que está entrando também está saindo e não possui carga líquida dentro. Me confundi no início com o campo elétrico e o fluxo.
<b>EG4</b>	<p>a) Eu escolho devido às linhas de campo de modo que elas sejam perpendiculares à área e constante “E” [módulo do campo elétrico] em toda a superfície, ou seja, escolheria a superfície que facilitaria melhor os cálculos.</p> <p>b) Fluxo de linhas de campo.</p>
<b>EG5</b>	a) Bom, primeiro eu traçaria uma superfície gaussiana até o raio “a” e o campo aqui dentro seria zero.

	<p>b) Traçaria agora uma superfície de “a” até “b”, pois à medida que o raio aumenta a superfície aumenta e teria que levar em conta o volume de “b”, menos o volume de “a”, seria uma integral de volume de “a” até “b”. À medida que vai aumentando o raio indo de “a” até “b”, a carga líquida vai aumentando.</p> <p>c) Aqui fora a carga líquida não teria aumento como antes [<math>a &lt; r &lt; b</math>] a carga líquida dentro da superfície seria sempre a mesma aumentando o raio depois de “b”</p>
EG6	Depende, se é um dipolo com o mesmo valor para as cargas e traçar uma superfície na volta das duas não é muito aconselhável, mas dá, apesar de ser difícil de saber quanto vale o campo nela [superfície gaussiana].
EG7	Eu acho que a dinâmica da aula está muito boa. Como eu tô repetindo eu via que antes era só muito cálculo e agora eu tô vendo a parte teórica bem melhor.
EG8	Acho que as atividades deram uma maior dinâmica na parte de visualizar assim os desenhos, esse tipo de coisa, e te dá uma base melhor geralmente. Me ajudou a compreender melhor (...) ver que o campo diminui quando tu te afasta das cargas. E acho que se tivesse mais tempo para fazer esse tipo de atividade mais vezes seria melhor.
EG9	Eu acho que é bom se todos participam. Teve uma ou duas tarefas que eu fiz e fiquei só calculando então nem prestei muita atenção e agora fui ver e fazer o exercício de novo e vi que deveria ter prestado atenção. No geral acho que está valendo, porque um ajuda o outro no sentido que quando um trava em alguma questão algum valor ali o outro vem e ajuda e todo mundo tem que começar a fazer e é muito bom fazer os exercícios em aula, porque em casa a maioria [dos problemas] eu não faria, não acharia tempo pra sentar e estudar e ali na aula pelo menos eu me obrigo a fazer os exercícios.
EG10	Achei bom, mas pelo que tu me perguntou eu vi que eu tô meio esquecido. Acho que ficou claro, ele explicava tudo direitinho era um texto que quando tu lê tu te atina ali, das manhas e tudo.
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
Questões	Fragmentos de respostas
EA1	<p><b>Aluno 7:</b> A Lei de Ampère vale quando a corrente é constante, o laço amperiano também é imaginário, mas não é uma superfície é um laço apenas, até poderia dizer uma dimensão, não sei. E a Lei serve para ti achar o campo, daí aquela expressão com a integral “<math>B.ds</math>” é para ti achar a circulação que o laço faz em volta do fio, então no caso, com essa fórmula tu pode achar o campo. Quando a corrente não for constante usa-se a Lei de Ampère-Maxwell e esse laço pode ser usado em solenóides, toróides e num fio reto longo e comprido.</p> <p><b>Entrev.:</b> Qual o significado físico desta lei?</p> <p><b>Aluno 7:</b> Que ela serve para determinar o campo, não saberia dizer agora bonitinho tudo. Acho que ela determina o fluxo de um campo elétrico constante.</p>
EA2	Sim, poderia usar direto a Lei de Ampère. E a carga líquida, seria, carga líquida não, corrente líquida. Seria só a do fio dentro do laço.
EA3	<p>a) Que o campo magnético no ponto “A” é diferente de zero, porque ele sofre influência de todos os fios. A corrente líquida é zero, mas isso não quer dizer que o campo também vai ser. Se tu desenhares as linhas de campo aqui tu vai ver que todos os fios estão influenciando.</p> <p>b) A corrente líquida é zero, mas o campo não é necessariamente zero.</p>

	<p>c)  <b>Aluno 7:</b> Bem, o campo nesse ponto “A” está sendo influenciado pelos outros também, mas acho que a expressão vai dar o campo neste ponto sim.  <b>Entrev.:</b> Na expressão matemática da Lei de Ampère, o campo magnético é devido a quem?  <b>Aluno 7:</b> A corrente líquida que está dentro do laço.</p>
<b>EA4</b>	<p>a) Todo o fio, a corrente de todo o fio, mesmo as que estão fora do laço.  b) Não, não é igual ao “i, ele vai depender do número de voltas que passam pelo laço.</p>
<b>EA5</b>	<p>Acho que não, porque a corrente tem que ser constante. A corrente tem que ter o mesmo sentido, senão o campo vai ficar variando.</p>
<b>EA6</b>	<p>Ali te dá uma visão melhor, não chega a te dar uma visão, digamos física, mas te dá uma noção melhor do que está acontecendo, não ficando só nos desenhinhos do quadro. Tu tens como ver, quase que fisicamente, os valores que tu tens quando botas os pontos em cima do laço, ou dentro do laço, valores de campo, ver o que acontece quando o raio vai aumentando. Elas me ajudaram bastante em ter uma melhor visualização do que está ocorrendo mesmo e, enfim, dos valores até. Na atividade do lápis [AES A2 – Apêndice B] deu para ver que traçando um laço, por mais “gigante” que possa ser, se ele pegar só uma corrente, um fio só ele vai dar sempre o mesmo valor ali do que se tu pegasses um laçinho pequenininho em volta dele, vai ter sempre o mesmo valor de circulação. As atividades ajudam a ter um maior conhecimento da matéria, não fica tão limitado. Não sei se muita gente consegue imaginar ali, o que está acontecendo. Eu não conseguiria e consegui ver muito melhor.</p>
<b>EA7</b>	<p>Ele te dá uma noção mais organizada do que está acontecendo, dos princípios que tu vai usar, do equipamento que tu estás usando, do que pode acontecer, acho que é uma forma mais organizada e fácil de entender também o que tu estás querendo, do que tu estás buscando. Me ajudou a ter uma visão do que acontece em todos os pontos, que englobou também as questões filosóficas, acho uma maneira mais fácil de ver essas coisas.</p>
<b>EA8</b>	<p>Achei o texto bastante claro. Foi nele que eu vi e sublinhei muito bem ali, que a corrente não varia para a Lei de Ampère, que a Lei de Ampère só pode ser usada para corrente constante. Está bem explicadinho.</p>

Tabela 6.9 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 8.

<b>Aluno 8</b>	
<p>Aos 21 anos de idade, está matriculado no curso de Bacharelado em Física e cursando a disciplina de Física III pela primeira vez. Já repetiu várias disciplinas como Cálculo I, Fundamentos de Astronomia e Física II e atribui isso ao fato ter estudado pouco e somente próximo às provas. Já trabalhou como monitor no laboratório didático de Física.</p>	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragments de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 8:</b> Bom, na Lei de Gauss tu tem sempre que procurar uma superfície gaussiana que seja fácil de calcular o campo, mantendo o ângulo constante. Ela serve para calcular o campo elétrico  <b>Entrev.:</b> Qual o significado Físico da Lei de Gauss?  <b>Aluno 8:</b> Não sei dizer.  <b>Entrev.:</b> O que é carga líquida?</p>

	<p><b>Aluno 8:</b> <i>É a quantidade de carga envolvida numa superfície gaussiana, a carga resultante nela.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> O que é superfície gaussiana?</p> <p><b>Aluno 8:</b> <i>É uma superfície fechada e imaginária com a forma que tu quiser.</i></p>
EG2	<p>a) <i>O campo não vai ser zero, porque as cargas vão gerar um campo ai [ponto “a”].</i></p> <p>b) <i>O campo elétrico ai no ponto “a” é devido a todas as cargas, inclusive as que estão fora.</i></p>
EG3	<p>a) <i>O fluxo vai ser zero, porque a carga líquida é zero, o fluxo que está entrando é o mesmo que está saindo.</i></p> <p>b) <i>Vai ser zero assim como o fluxo</i></p>
EG4	<p>a) <i>Vou escolher a superfície mais útil para fazer meus cálculos observando a simetria das linhas de força.</i></p> <p>b) <i>Da quantidade de linhas de força que entram e saem da superfície gaussiana.</i></p>
EG5	<p>a)</p> <p><b>Aluno 8:</b> <i>Seria zero porque a carga líquida envolvida pela superfície gaussiana é zero.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Sempre vai ser zero?</p> <p><b>Aluno 8:</b> <i>Nem sempre, mas nesse caso eu acredito que é.</i></p> <p>b) <i>Sabendo a densidade volumétrica eu tenho que usar a carga toda pelo volume todo igual à carga líquida envolvida pelo volume da superfície gaussiana. Com isso eu consigo chegar à carga líquida e calcular o campo.</i></p> <p>c) <i>A carga líquida neste último caso é toda a carga da esfera.</i></p>
EG6	<p>a) <i>Ela é válida para qualquer tipo de estrutura.</i></p> <p>b) <i>Eu me lembro de que não podia fazer com as duas juntas por não ter simetria.</i></p>
EG7	<i>Acho que a melhor maneira de aprender é assim, a gente fica incentivado a estudar fora de aula também. Acho que aprendi bem melhor e vou gravar bem melhor também, acho que tudo junto, fazendo exercícios, trabalhar em grupo, trabalhar no laboratório de informática e também no de experimental ajuda muito.</i>
EG8	<i>É bom também, porque te dá mais recurso. Tu consegue ver as coisas e fica mais claro. Eu gostei de ver como funcionariam os vetores, de ver os vetores, de como era os ângulos e tudo. Que é sempre bom tu pegar uma superfície que te facilite descobrir um ângulo de quanto a normal faz com o campo.</i>
EG9	<i>Bem, a maioria dos professores em geral, não faz isso, poucos fazem. Ao trabalhar em grupo cada um tira um pouco das dúvidas do outro e isso é interessante.</i>
EG10	<i>O texto foi bom porque ele explicou como é que funcionava a Lei de Gauss de uma maneira mais simples que o Halliday, esclarecendo bem o que é o fluxo de campo elétrico. Eu acho que ficou bem claro, acho que o negócio da carga líquida também ficou bem esclarecido. As explicações quanto aos formatos da gaussiana, que ela pode ser de qualquer formato. Outra coisa que eu achei interessante foi ver que a quantidade de linhas de campo determina o fluxo. Achei bem melhor que o Halliday.</i>
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
Questões	Fragmentos de respostas
EA1	<p><b>Aluno 8:</b> <i>O que a Lei diz é que corrente em movimento gera campo magnético e também a variação do fluxo elétrico gera também campo magnético. Esta é a Lei de Ampère-Maxwell. A Lei de Ampère diz que corrente em movimento gera campo magnético.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Corrente em movimento?</p> <p><b>Aluno 8:</b> <i>Corrente passando por um determinado fio por exemplo. E a gente usa para a Lei a expressão <math>\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{liq}</math> e <math>i_{liq}</math> seria a carga..., a corrente envolvida pelo</i></p>

	<p><i>laço amperiano que é um percurso qualquer fechado.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Como assim um percurso?</p> <p><b>Aluno 8:</b> Por exemplo no caso de um quadrado seria o perímetro do quadrado.</p> <p><b>Entrev.:</b> Quando a Lei de Ampère é válida?</p> <p><b>Aluno 8:</b> Quando tiver corrente em movimento, a corrente passando por um fio.</p> <p><b>Entrev.:</b> Quando a corrente elétrica estiver variando no tempo, a Lei de Ampère é válida?</p> <p><b>Aluno 1:</b> Acho que sim.</p>
<b>EA2</b>	<p><i>Sim, poderia usar a expressão. O campo seria constante, sairia para fora da integral e também teria que ver o sentido do percurso de integração que faria dar o campo positivo ou negativo de acordo com o sentido que a gente escolher. (...) o B é gerado por ambas as cargas, mas na integral a gente só considera o da <math>i_{liq}</math>.</i></p>
<b>EA3</b>	<p><b>a)</b> O campo magnético vai ter um valor diferente de zero, pois o campo está sendo gerado pelos três fios. Como não está envolvendo carga líquida, quer dizer corrente líquida, o que vai ser zero é a integral de "B.ds".</p>
	<p><b>b)</b> O campo também vai ser gerado pelos três fios e a integral vai ser zero.</p>
	<p><b>c)</b> Acho que sim, usando a Lei de Ampère chegamos nesta fórmula.</p>
<b>EA4</b>	<p><b>a)</b> Devido a todo o solenóide, a corrente que está passando por todo solenóide.</p>
	<p><b>b)</b> É o mesmo "i".</p>
<b>EA5</b>	<p><i>Acho que não pode usar a Lei de Ampère, porque ela só vale quando a corrente é constante.</i></p>
<b>EA6</b>	<p><i>Eu achei interessante a atividade que aparecia o lápis [AES2] era bom para ver a corrente líquida, quando era zero e quando que não era. Tinha uma barrinha mostrando o resultado da integral, me ajudou a entender esta parte da corrente líquida. Consegui ver que quando uma corrente estava saindo e a outra entrando, a corrente líquida era zero porque se anulavam os "i" para uma a integral dava positivo, para a outra negativo, e se anulavam quando juntava as duas. Na do solenóide [AES3] não me lembro muita coisa, nem da primeira [AES1]. Acho que no geral elas são boas para tu visualizar as coisas, porque senão fica muita coisa na teoria e tu não vê na prática. As atividades ajudam a fixar mais o que a gente viu em aula com os exercícios. (...) é bom mexer com a simulação e poder fazer qualquer tipo de laço e ver o que acontece, coisa que tu não tem na prática, tu só acredita piamente no que o professor diz.</i></p>
<b>EA7</b>	<p><b>Aluno 8:</b> Foi bom primeiro para a gente aprender aquilo ali [diagrama AVM] que eu acho uma coisa interessante, como é que faz o diagrama, como constrói ele, e também deu para ver na simulação no modelo [AEM1] deu para ver como varia o campo dentro do fio e fora, deu para ver que dentro varia linearmente e fora com o inverso de "r".</p> <p><b>Entrev.:</b> O diagrama AVM te ajudou a aprender alguma coisa de Física?</p> <p><b>Aluno 8:</b> Aprendi alguma coisa, porque a gente pensa para que serviria muita coisa que a gente sabe o que é, mas não sabe como considerar. Por exemplo, sabe que com "r = 0" o campo magnético é zero, e faz a gente pensar em outros resultados conhecidos como que no infinito o campo é zero também. Acho que ajuda a pensar mais sobre o conteúdo.</p>
<b>EA8</b>	<p><i>Não cheguei a ler com atenção.</i></p>

Tabela 6.10 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 9.

<b>Aluno 9<sup>23</sup></b>	
Aos 34 anos de idade, está matriculado no curso de Bacharelado em Física e cursando a disciplina de Física III pela segunda vez. Já repetiu várias disciplinas como Física I, Álgebra, Física III e Equações Diferenciais. Argumenta que devido a problemas de saúde não pode se dedicar às disciplinas. Já deu aula na rede estadual para o primeiro ano do ensino médio. Não possui, nem possuiu bolsa de iniciação científica.	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 9:</b> <i>A Lei de Gauss vale sempre, só que a gente procura simetria onde o campo elétrico tenha o mesmo módulo e um ângulo que faça cosseno “um” na equação.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Qual é o significado físico da Lei de Gauss?</p> <p><b>Aluno 9:</b> <i>É que uma carga sempre gera um campo elétrico.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> O que vem a ser fluxo do campo elétrico?</p> <p><b>Aluno 9:</b> <i>Fluxo seria a passagem, a passagem não, as linhas de campo atravessando uma superfície, onde esta superfície seria a superfície de Gauss, imaginária e fechada, onde a gente imagina também estas linhas de campo atravessando a superfície. Esta superfície deve ser o mais simétrica possível em relação ao nosso propósito e envolver a carga resultante que a gente está considerando.</i></p>
<b>EG2</b>	<p><b>a)</b> <i>O campo elétrico não é zero, mas se eu quisesse saber o campo elétrico eu englobaria as cargas do fio, pois são elas que estão gerando o campo elétrico.</i></p> <p><b>b)</b> <i>O campo elétrico é devido a todas as cargas dentro e fora da superfície gaussiana.</i></p>
<b>EG3</b>	<p><b>Aluno 9:</b> <i>O campo elétrico seria zero, porque não tem carga elétrica, no caso esta superfície gaussiana não está envolvendo nenhuma carga.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> Sempre que a carga líquida for zero o campo elétrico vai ser zero?</p> <p><b>Aluno 9:</b> <i>Não. Sempre que a carga líquida for zero, o fluxo vai ser zero.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> E para o nosso caso aqui?</p> <p><b>Aluno 9:</b> <i>O campo elétrico é zero, porque fluxo é zero... Na verdade eu teria zero em linhas de campo elas entram e saem na mesma quantidade da superfície.</i></p>
<b>EG4</b>	<p><b>a)</b> <i>Eu escolho a superfície de modo que o módulo do campo seja constante e o ângulo dê um cosseno igual a um.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Fluxo das linhas de campo atravessando a superfície.</i></p>
<b>EG5</b>	<p><b>a)</b> <i>Esse campo seria nulo, porque não existe cargas dentro e como é simétrico, o campo que seria pra dentro se anularia devido as cargas de fora.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Eu tenho que considerar a carga total sobre o volume total, a carga líquida aí seria o volume relacionado com o raio da gaussiana, pra achar o campo.</i></p> <p><b>c)</b> <i>Eu usaria [para determinar o módulo do campo elétrico] a carga total pelo volume, menos o volume de dentro.</i></p>

<sup>23</sup> Por motivos de saúde, participou apenas das atividades envolvendo a Lei de Gauss, portanto apenas a Entrevista 1 é descrita.

<b>EG6</b>	<p><b>Aluno 9:</b> Não é muito útil.</p> <p><b>Entrev.:</b> Mas seria válida?</p> <p><b>Aluno 9:</b> Seria válida se fosse possível arranjar uma superfície [simétrica] para as duas cargas ao mesmo tempo. Se não fosse, poderíamos fazer para uma carga e depois para a outra.</p>
<b>EG7</b>	<p>Está sendo bem dinâmica, porque a gente aprende a matéria e em seguida aplica. Então a gente memoriza e se tiver alguma dúvida que passou despercebida a gente na hora vai se dar por conta. Eu tô acompanhando bastante assim, porque no semestre passado eu tive muita dificuldade. Uma porque eu tive o problema de saúde, e outra porque eu não conseguia compreender o que o professor explicava. A explicação foi muito em cima de: - Ah, vamos resolver a integral. Mas por quê? Eu realmente não tinha aprendido nada disso daqui. Eu não tive essa matéria no segundo grau.</p>
<b>EG8</b>	<p>Teve umas ali que me ajudaram bastante, que eu fiz errado até a tarefa, porque eu fiz muito rápido e eu sei que eu fiz errado porque eu não prestei atenção. Depois quando eu analisei o desenho no computador eu vi que o que eu pensei era uma coisa e no computador era diferente. Eu podia ver a setinha [vetor “da”] que virava de acordo com o que eu ia fazendo, ia mudando o ângulo, o que antes eu estava pensando diferente.</p>
<b>EG9</b>	<p>É o que está me salvando, porque eu não faço exercícios em casa, eu só fiz as tarefas em aula. Acho que para gente tem funcionado bastante, porque assim a gente tem trabalhado [em relação ao seu grupo] cada um buscando o seu conhecimento e se tiver dúvida a gente troca as dúvidas.</p>
<b>EG10</b>	<p>Me ajudou bastante, é bem narrado, tem a comparação entre o fluxo em diversas situações, dá para entender bem.</p>

Tabela 6.11 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 10.

<b>Aluno 10</b>	
<p>Aos 25 anos de idade, está matriculado no curso de Licenciatura em Física e cursando a disciplina de Física III pela segunda vez. Já repetiu várias disciplinas como Cálculo I, Física I, Física II, Física III e Equações Diferenciais e atribui isso em grande parte à sua pouca dedicação aos estudos e também aos professores que não souberam, em suas palavras, “passar o ensino”. Já deu aula particular de Física para alunos no ensino médio, mas nada formal. Não possui, nem possuiu bolsa de iniciação científica.</p>	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 10:</b> Bem, vou começar a dizer o que eu me lembro. A questão de uma superfície hipotética, cilindros, no caso formato cilíndrico, formato esférico, formato plano e a questão do fluxo que podemos obter o fluxo a partir do campo elétrico ou obter o campo elétrico a partir da área. Me lembro também da questão da carga líquida, onde tem carga positiva e negativa, carga líquida igual a zero.</p> <p><b>Entrev.:</b> E quanto ao significado físico?</p> <p><b>Aluno 10:</b> Ai, eu tenho na mente, mas não consigo falar, que o fluxo do campo elétrico é proporcional à carga líquida envolvida.</p> <p><b>Entrev.:</b> Quando a Lei de Gauss é válida?</p> <p><b>Aluno 10:</b> Me lembro das figuras tanto da aula normal quanto da informática onde nós</p>

	<i>aplicávamos as superfícies dentro dos materiais envolvidos, vamos dizer, seja esférico cilíndrico ou plano, mas não sei dizer.</i>
<b>EG2</b>	<b>a)</b> [Silêncio] <i>Estou mais lembrada de quando o cilindro envolve a barra [linha de cargas], mas como não tem carga nele eu acho que o campo é zero e está sendo gerado pela barra.</i>
	<b>b)</b> <i>A informação que me veio imediatamente é de considerar somente esse espaço em que o cilindro está envolvido.</i>
<b>EG3</b>	<b>a)</b> <i>O fluxo vai ser zero porque não tem carga dentro.</i>
	<b>b)</b> <b>Aluno 10:</b> <i>Zero.</i> <b>Entrev.:</b> <i>Por quê?</i> <b>Aluno 10:</b> <i>Estou pensando na carga aqui dentro [aponta para a superfície gaussiana]... [Silêncio]</i> <b>Entrev.:</b> <i>Então o campo é zero, porque a carga líquida é zero?</i> <b>Aluno 10:</b> <i>Porque não tem carga, pelo menos eu penso num primeiro momento assim.</i>
	<b>a)</b> <i>Eu escolho uma superfície para se adequar da melhor maneira possível ao formato do material já existente. Se já é um cilindro, eu escolho um cilindro, se for uma esfera eu escolho uma esfera...</i>
	<b>b)</b> <i>É fluxo de carga, mas não tenho certeza. É o fluxo do campo elétrico através da superfície gaussiana. Acho que é o fluxo do campo elétrico através da superfície gaussiana.</i>
<b>EG5</b>	<b>a)</b> <b>Aluno 10:</b> <i>(...) menor do que “a” carga líquida igual a zero.</i> <b>Entrev.:</b> <i>Sempre que o campo elétrico for zero a carga líquida vai ser zero?</i> <b>Aluno 10:</b> <i>Não necessariamente, mas quando o campo elétrico for zero a carga líquida é zero. O que é uma coisa, não necessariamente é a outra.</i>
	<b>b)</b> <i>Já entre “a” e “b” a carga negativa, tem a questão de envolver a área e o volume, aplicar a integral de “E.da” é a carga líquida sobre epsilon zero, mas não sei dizer certinho. Eu ainda confundo condutor e não-condutor para resolver o trabalho braçal [desenvolvimento dos cálculos] e chegar na resposta final. Sei que vai ter diferença nesses dois últimos casos, onde eu vou ter que desconsiderar o volume de dentro [<math>r &lt; a</math>].</i>
	<b>c)</b> <i>Maior que “b” envolve toda carga negativa.</i>
<b>EG6</b>	<i>Vale sim, eu me lembro da questão de dipolo elétrico envolvendo. Pensando na superfície eu acho que me precipitei, mas não consigo ver a questão do ponto no dipolo, não sei dizer.</i>
<b>EG7</b>	<i>Eu acho os exercícios ótimos, acho boa a aula ali. Tu vai explicando normalmente, vai puxando pelo pessoal e não fica aquilo: deposita teoria, deposita teoria e tchau, vai embora.</i>
<b>EG8</b>	<i>Eu acho assim bem mais visual né. A coisa fica bem mais palpável e não fica tão teórica e ali a gente mexe com o auxílio do computador, vendo as figuras, vendo o formato, é bem interessante. Eu me lembro que eu tava tropeçando bem mais no início. Sei que ainda estou tropeçando agora, mas me ajudou a ver o formato. A questão se é cilíndrico, se é esférico, fui aplicando mais e visualizando mais. Valeu bastante para a visualização, porque a gente tem uma superfície hipotética, imaginária, ué, o que é isso? E visualizando no computador tu pode enxergar.</i>
<b>EG9</b>	<i>Eu gosto porque puxa pelo aluno, né. Teve aula do tipo, vamos fazer exercícios, o que se aprendeu e o que não. E o professor está ali para que a gente pergunte, corra atrás e</i>

	<i>também no trabalho em grupo a gente vai se ajudando.</i>
<b>EG10</b>	<i>Eu achei bastante explicativo. Na parte da Lei de Gauss eu estudei todo por ele, com exceção de exercícios e tudo mais no laboratório de informática. Eu achei o texto bem fácil de aprender, foi um material de apoio realmente.</i>
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
<b>Questões</b>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EA1</b>	<p><b>Aluno 10:</b> <i>Bem, a princípio, laço amperiano é uma linha fechada, arbitrária e imaginária. O que eu tenho em mente do significado físico da Lei de Ampère é que o campo magnético é gerado pela corrente elétrica e/ou pela variação do campo elétrico, isso eu tenho bem na mente, mas essa questão de validade em não tenho muito claro. Lembro que a integral fechada de “B.ds” é proporcional à corrente líquida. A questão do campo magnético ser igual a zero: necessariamente a integral é igual a zero, mas o inverso não é válido porque a questão da integral de “B.ds.cosθ” ser igual a zero, o ângulo poderia ser igual a noventa e o cosseno ser igual a zero.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> <i>O que é corrente líquida?</i></p> <p><b>Aluno 10:</b> <i>No caso, por exemplo, temos um fio saindo e outro entrando e envolvemos por um laço amperiano e determinamos um sentido de integração e de acordo com ele vemos o valor da corrente. Essa corrente resultante, uma menos a outra seria a corrente líquida.</i></p>
<b>EA2</b>	<i>Podemos escrever esta expressão sim, é só aplicar a Lei de Ampère. Está valorizando a carga líquida, quer dizer, a corrente líquida do fio 1.</i>
<b>EA3</b>	<p><b>a)</b> <i>Eu me lembro de ter visto este desenho e que neste ponto o campo seria zero, mas e o restante das correntes, não alteraria? Não sei bem, mas acredito que é zero, porque dentro do laço amperiano não existe corrente.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Se a corrente de cada um [apontando para os fios 1 e 3] é a mesma, a carga líquida, quer dizer a corrente líquida é igual a zero, um está entrando outro está saindo e eu ainda insisto que no ponto “A” o campo é igual a zero.</i></p> <p><b>c)</b> <i>Sim, eu estou valorizando o que tem dentro do laço amperiano.</i></p>
<b>EA4</b>	<p><b>a)</b> <i>O campo magnético é gerado pelos que estão dentro do laço.</i></p> <p><b>b)</b> <i>Sim, é a corrente de todo o solenóide.</i></p>
<b>EA5</b>	<i>Eu acredito que sim, ao mesmo tempo eu tô vendo que é um fio e a corrente uma hora está para cima e outra hora está para baixo. Me bateu uma baita duma dúvida, mas eu acredito que sim, que podemos usar a Lei de Ampère.</i>
<b>EA6</b>	<i>Eu gostei das atividades. Foi bem melhor para a gente ver, a gente aplicar, mesmo que muitas vezes a gente fique “remando”, uma hora bate a dúvida física, outra hora bate a dúvida computacional, mas é pra movimentar com a gente, sem dúvida, eu gostei. Me ajudou a visualizar mais a questão do laço, passa o lápis ali [AES2] aí tu já tem o valor do campo, ou se já tem da corrente pode ver também, a gente vai praticando mais e vendo os resultados ali. Para visualizar é ótimo. Tu traça o laço, daí tu já vê a corrente, o campo, se tu tiver dois fios o que acontece, a gente vai praticando e respondendo as questões.</i>
<b>EA7</b>	<p><b>Aluno 10:</b> <i>Eu gostei, me ajudou a entender sim, e aquela questão de primeiro: - Ah, havia um erro no modelo! Fez a gente correr atrás, fez a gente descobrir e isso vai forçando o entendimento e no que nós vimos: - Ah, temos um erro! Facilita muito para o entendimento. (...) isso coloca um desafio. Me ajudou a gravar as deduções para cada caso.</i></p> <p><b>Entrev.:</b> <i>Em relação ao diagrama AVM, ele te ajudou a entender alguma coisa?</i></p> <p><b>Aluno 10:</b> <i>Eu já achei um pouquinho complicado, dava a impressão de que eu estava</i></p>

	<i>transformando aquilo numa coisa muito mais difícil, mas não depois no final eu achei mais fácil, valeu também para nós vermos aquelas coisas, das condições, das questões, já ir colocando sobre a teoria, ir organizando de forma teórica também, e ao mesmo tempo prática, analisando o comportamento do modelo. Achei realmente interessante.</i>
<b>EA8</b>	<i>Excelente, bem mais direcionado para a Física do que o início no Halliday. Eu particularmente fiquei mais no texto de apoio. Está claro, explicativo, super didático. Vou lá e só dou uma colorida naquilo que eu quero salientar. Gostei realmente do texto.</i>

Tabela 6.12 – Síntese das entrevistas 1 e 2 sobre as Leis de Gauss e Ampère com o Aluno 11.

<b>Aluno 11</b>	
Aos 20 anos de idade, está matriculado no curso de Bacharelado em Física e cursando a disciplina de Física III pela primeira vez. Já repetiu várias disciplinas como Cálculo I, Cálculo II, Fundamentos de Astronomia e Fortran, e atribui isso a ter custado a se adaptar à vida na capital e que teve uma formação no ensino médio que deixou muito a desejar. Já deu aula particular de Matemática e Física para alunos no ensino médio, mas nada formal. É bolsista de trabalho no laboratório de magnetismo.	
<b>Lei de Gauss – Entrevista 1</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EG1</b>	<p><b>Aluno 11:</b> Bem, a primeira coisa que eu lembro é que carga gera campo. Depois, quando usar a Lei de Gauss e quando usar a Lei de Coulomb, eu acho que a Lei de Gauss a gente usa quando puder aproveitar a simetria e a Lei de Coulomb quando essa simetria for pequena, quase nula. A Lei de Gauss a gente usa para encontrar o fluxo do campo elétrico em função, o fluxo de cargas no caso, em função do campo elétrico e do vetor área.</p> <p><b>Entrev.:</b> Fala mais sobre o fluxo de cargas.</p> <p><b>Aluno 11:</b> O fluxo ele é proporcional à carga líquida. O fluxo de cargas que está passando por uma determinada superfície gaussiana hipotética e arbitrária. Esse fluxo é proporcional à carga líquida quando esse fluxo for zero ou é porque a carga líquida é zero, ou seja, a carga resultante, ou é porque o ângulo entre o vetor campo elétrico e o vetor área é noventa graus, em função do cosseno vai ficar zero.</p>
<b>EG2</b>	<p>a) Não me lembro. Esse eu não lembro mesmo.</p> <p>b) Devido à distribuição de cargas de todo o fio.</p>
<b>EG3</b>	<p>a) O fluxo vai ser zero, porque a carga líquida no caso é zero ou também pensando pelo número de linhas que entram e que saem, as linhas de campo do fluxo.</p> <p>b) O campo elétrico é devido ao dipolo, as duas cargas do sistema e não vai ser zero.</p>
<b>EG4</b>	<p>a) A simetria das linhas do fluxo.</p> <p>b) Fluxo de cargas que atravessa a superfície gaussiana.</p>
<b>EG5</b>	<p><b>Aluno 11:</b> Bem, eu ia começar traçando uma superfície gaussiana na forma de uma esfera para cada raio para aproveitar a simetria do campo e calcular o campo através do fluxo. Para "<math>r &lt; a</math>" o fluxo vai ser zero, porque a carga líquida é zero.</p> <p><b>Entrev.:</b> Sempre que a carga líquida for zero, o campo elétrico vai ser zero?</p> <p><b>Aluno 11:</b> Não necessariamente, depende do ângulo. Se fosse entre "a" e "b" eu ia ter que fazer uma relação entre a proporção de carga, porque ela é uniforme. Ia</p>

	<i>calcular também pela Lei de Gauss através do fluxo. E se o raio fosse maior ou igual a “b” eu ia usar a carga total do sistema.</i>
<b>EG6</b>	<i>a) (...) eu acho que ela é válida, mas não vai ser útil. b) Não, porque é muito difícil de traçar a superfície gaussiana pra esse caso, é mais fácil usar a Lei de Coulomb.</i>
<b>EG7</b>	<i>Eu estou gostando porque está sendo bem diferente das outras cadeiras que eu já tive, das outras aulas que eu já tive. Então para mim tá sendo uma experiência nova interagir com o professor e não ficar só ali escutando. Então acho que está sendo bem bacana. Pelo menos para mim está sendo muito válido e estou aprendendo muito mais porque estou parando para pensar nas coisas. Não estou só copiando no caderno e resolvendo exercícios.</i>
<b>EG8</b>	<i>Ah, foi bem importante para mim também, porque eu consegui enxergar aquele conceito de que as linhas de campo “espertam” a área onde está passando o fluxo né. Até então eu não tinha conseguido entender. O comportamento também do campo elétrico devido às diferentes configurações. Também foi bem interessante, e também para visualizar melhor a questão do ângulo entre o vetor do campo elétrico e o vetor área, quando vai ser zero, quando não vai. E também para associar melhor a superfície gaussiana do sistema que a gente está trabalhando. Enxergar quando que é melhor uma, quando que é melhor outra.</i>
<b>EG9</b>	<i>Eu acho que é bom, apesar de eu ter mais dificuldades de me concentrar com mais pessoas, porque meu rendimento é muito maior se eu estiver sozinha e sentar sozinha para estudar. Só eu. Mas é bom porque eu estou aprendendo a me concentrar e interagir com meus colegas e tentar às vezes explicar para eles a minha maneira de ver o exercício, né, e ver as diferentes formas de ver a mesma coisa e na Física tem muito disso. Tu poder resolver uma coisa por vários caminhos, então isso está sendo bem bom. E o fato do incentivo a fazer os exercícios, que é bem melhor que pegar uma lista pronta e ver lá como é que faz. Porque isso acontece um monte também. Fora o fato de que o professor, no teu caso estar interagindo com a gente conta bastante. O que eu acho que isso acontece pouco assim [em outras disciplinas]. Instigar a gente a questionar, a saber o porquê, sabe, a pensar, não só chegar ali na frente e passar o conhecimento pronto e ir embora.</i>
<b>EG10</b>	<i>Ah, o texto me ajudou porque eu preciso ver, o desenho assim, para mim entender as coisas. Então me ajudou porque foi uma maneira de eu enxergar como a gente aplica a Lei de Gauss, quando que é bom aplicar ela e quando que não é. Foi bem interessante também para mim ter um primeiro contato com as Leis de Maxwell que já estavam ali naquele texto, apesar da gente não estar trabalhando com elas todas ainda.</i>
<b>Lei de Ampère – Entrevista 2</b>	
<i>Questões</i>	<i>Fragmentos de respostas</i>
<b>EA1</b>	<b>Aluno 11:</b> <i>O significado físico principal é que o campo magnético devido a um fio é proporcional à corrente líquida. A Lei de Ampère é semelhante à Lei de Gauss, sendo interessante quando a gente pode aproveitar a simetria do problema. A simetria das linhas de campo com o laço amperiano que a gente vai traçar.</i> <b>Entrev.:</b> <i>O que é corrente líquida?</i> <b>Aluno 11:</b> <i>Vai ser a corrente envolvida pelo laço amperiano. Se soma as correntes que têm os sinais definidos de acordo com o percurso de integração.</i>

	<p><b>Entrev.:</b> O que é laço amperiano?  <b>Aluno 11:</b> É um laço que tu usa para poder calcular a integral de linha e descobrir a circulação.  <b>Entrev.:</b> Qual é a validade dela?  <b>Aluno 11:</b> A Lei de Ampère é válida para correntes constantes, quando eu não tiver variação no fluxo magnético.</p>
<b>EA2</b>	<i>Eu acho que não, porque tem a interação de “<math>i_2</math>” também, e o campo magnético vai ser em função dos dois fios e não só em função deste fio aqui [fio 1].</i>
<b>EA3</b>	<i>a) O campo magnético vai ser devido aos três fios e não vai ser zero. Só a circulação vai ser zero, porque a corrente líquida no interior do laço amperiano é zero.</i>
	<i>b) Vai também ser devido aos três fios se essas correntes são as mesmas, e a circulação vai ser zero de novo.</i>
	<i>c) Eu acho que não é só isso, que nem nesse caso dos fios paralelos [apresentados na questão EA1], porque vai ter a ação destes dois fios também.</i>
<b>EA4</b>	<i>a) O campo magnético é gerado por toda a corrente que passa pelo solenóide.</i>
	<i>b) Não vai ser só “<math>i</math>”, ela vai ser proporcional ao número de anéis que tem dentro do laço amperiano.</i>
<b>EA5</b>	<i>Eu acho que sim, mas o campo vai ter variação do sentido dele também.</i>
<b>EA6</b>	<i>Em particular em relação à segunda atividade [AES2] me ajudou um monte porque eu consegui perceber que o sentido de integração interfere no sinal do campo magnético que tu vai obter e se for negativo é só trocar o sentido de integração. A questão de corrente líquida, conforme o laço amperiano que tu traça, a circulação vai ser diferente se tu envolver todos [os fios] ou nenhum e acho que foi legal, porque eu consegui enxergar que o campo magnético vai ser o mesmo num determinado ponto, independente do laço amperiano que eu traçar. Na terceira [AES3] deu para ver o que é a densidade de voltas do solenóide. Eu achei as atividades bem interessantes no geral porque eu consegui visualizar muita coisa que fica só na teoria, como isso que eu já falei da circulação proporcional à corrente líquida, o campo magnético fora do laço amperiano ou dentro dele, o sentido de integração. Acho que é bem interessante.</i>
<b>EA7</b>	<i><b>Aluno 11:</b> Eu acho que essa atividade foi boa porque a gente conseguiu relacionar a teoria com a parte experimental que a gente está trabalhando no computador. A gente conseguiu perceber e encontrar erros dentro do próprio programa, significou que a gente pegou bem a parte teórica e também fazer um paralelo entre o que é realmente importante sabe. O que a gente precisa tirar dali de dentro, quais as questões fundamentais da teoria, quais são as perguntas que tu precisas saber responder em relação aquilo, sabe? Isso me ajudou a gravar bastante a matéria. Eu acho que o diagrama AVM ficou mais claro para mim do que as simulações porque eu consegui entender melhor, absorver mais a Lei de Ampère pelo diagrama do que pelas simulações, mas a teoria da Lei de Ampère no caso.</i>
<b>EA8</b>	<i>Achei que foi bom ele foi mais teórico e sucinto, ele é objetivo. Eu achei melhor que o livro.</i>

Passemos agora a comentários interpretativos das entrevistas. Contudo é importante frisar que tais comentários refletem também, e não secundariamente, nossa observação participativa e a interação com os alunos ao longo do semestre.

## **Aluno 1:**

Em nossa interação com o Aluno 1 em sala de aula percebemos uma certa falta de dedicação aos estudos e com tendências à dispersão por qualquer coisa. Também pudemos perceber certa hostilidade sua em relação ao computador em geral, destacando apenas que as atividades foram interessantes para que se pudesse visualizar melhor a explicação do professor. Ele achou complicado trabalhar no diagrama AVM porque é preciso explorar o modelo à procura de erros, se mostrando um pouco frustrado por não conseguir fazer isso rapidamente. Também apresentou a visão do diagrama AVM como um fim em si, tendo achado interessante ter tido contato com esta técnica. Acreditamos que não tenha sido muito útil para que ele refletisse sobre a situação física apresentada, pois, embora ele reconheça que aprendeu algum conteúdo de Física com a construção do diagrama, não o fez com entusiasmo. O Aluno 1 parece ter compreendido apenas parcialmente a Lei de Gauss, manifestando o raciocínio de que o campo elétrico é proporcional à carga líquida envolta pela superfície gaussiana, e encarando o fluxo do campo elétrico como um fluxo de cargas através desta superfície. Outra dificuldade demonstrada foi perceber que o campo elétrico envolvido na expressão matemática da Lei de Gauss se deve a todas as cargas do sistema e não somente à carga líquida. Aparentemente, sua compreensão da Lei de Ampère foi melhor. Pudemos detectar apenas uma dificuldade em estabelecer a corrente líquida que atravessa a área delimitada pelo laço amperianos na situação problemática envolvendo um solenóide. Em relação ao texto de apoio sobre a Lei de Ampère, acreditamos que tenha motivado o Aluno 1 a estudar a matéria. De modo geral, em nossa opinião, o aspecto mais relevante para a motivação do aprendizado deste estudante foi a realização de tarefas em grupo na sala de aula, salientando a interação com os colegas como o principal fator motivador para continuar aprendendo, apesar de suas dificuldades.

## **Aluno 2:**

Em sala de aula, o Aluno 2 sempre acompanhou a matéria através do livro-texto e se mostrou interessado nas explicações do professor, se manifestando em aula sempre que tinha dúvidas. Fez uma leitura crítica do texto de apoio, no sentido que buscou a todo instante comparar o material recebido com aquilo que estava no livro-texto e apontando diferenças de estilo entre os mesmos. Talvez pela sua valorização à abordagem utilizada no livro-texto, num primeiro momento (sobre a Lei de Gauss), ele teve dificuldades em perceber o significado físico da Lei de Gauss, se atendo à visão desta Lei apenas como um método para facilitar os cálculos. Também podemos observar que o Aluno 2 fazia uma confusão entre o conceito de força elétrica e campo elétrico, percebendo ainda a Lei de Gauss, como talvez um caso particular da Lei de Coulomb. Outra dificuldade inicialmente observada foi a confusão entre os conceitos de fluxo do campo elétrico e campo elétrico ao raciocinar sobre qual deles era proporcional à carga líquida. A grosso modo, podemos dizer que o Aluno 2 se mostrou um entusiasta do uso do computador em atividades de sala de aula, indicando que conseguiu compreender melhor o conteúdo em estudo a partir de uma melhor visualização da situação-problema abordada por meio do computador. Em relação aos trabalhos realizados em grupo na sala de aula, salientou o fato que geralmente os colegas dispõem de uma maneira mais fácil de explicar, mas ao seu nível, do que o professor, tornando deste modo as atividades em grupo mais produtivas. No que diz respeito à Lei de Ampère, em nossa análise, o estudante apresentou apenas uma dificuldade a ser destacada, a da determinação do contexto de validade da Lei de Ampère. Sua descrição das atividades exploratórias de simulação para a Lei de Ampère foi de modo geral muito detalhada, distinguindo o trabalho realizado com cada uma e lembrando de muito mais detalhes que seus os colegas. Isto talvez se justifique pelo seu, já referido, entusiasmo pelo computador como uma ferramenta em sala de aula. Quanto à atividade desenvolvida com o diagrama AVM, acreditamos que sua percepção se alinhe com um dos objetivos básicos intrínsecos à construção do digrama

AVM: a reflexão sobre o que o modelo descreve, com especial atenção à validade de seus resultados e também ao contexto de validade do modelo.

### **Aluno 3:**

O Aluno 3 estava repetindo pela terceira vez a disciplina de Física III. Este aluno, apresentava claramente uma falta de motivação em estudar e até mesmo participar das aulas, costumava sempre chegar atrasado de 10 a 15 minutos e falar pouco em sala de aula. Após as primeiras semanas, começou a participar ativamente das aulas e a levantar as questões mais relevantes em termos da compreensão física da matéria. Creditamos este fato à abertura da possibilidade de uma interação maior com o professor e da discussão gerada pelas atividades realizadas em sala de aula. Em vários momentos, o Aluno 3 comparou a dinâmica utilizada na disciplina durante o semestre em que ocorreu o estudo com os semestres anteriores, afirmando várias vezes que desta terceira e última vez ele iria sair sabendo alguma coisa. De fato, o desempenho deste aluno tanto nas provas quanto nas entrevistas sugerem que isto ocorreu. Salienta também que desta vez sente a turma como um todo participando da aula e não de uma maneira isolada, onde alguns acompanhavam e outros não, como em episódios anteriores. Em relação à Lei de Gauss em geral, não apresentou dificuldades no entendimento ou aplicação da mesma. Sobre a Lei de Ampère, também não apresentou maiores dificuldades. Quanto às atividades exploratórias de simulação destacou que estas foram fundamentais para que compreendesse bem o conteúdo, argumentando que a possibilidade de visualizar permite com que se tenha uma idéia do comportamento dinâmico dos fenômenos descritos pelos modelos e se entenda como se chegam aos resultados. Outro ponto que destacou, também, é a possibilidade de interagir com as simulações. Não ficar restrito à sua visualização, mas poder explorá-las contribuiu, segundo ele, para que se defrontasse com situações que até então não haviam sido percebidas e, desta forma, antecipar o surgimento de possíveis dúvidas, aproveitando para esclarecê-las com o professor. Em relação à atividade

envolvendo o diagrama AVM, o Aluno 3, comentou que o diagrama possibilitou que de fato ele pudesse fazer investigações sobre um modelo, não ficando apenas restrito a observá-lo e responder algumas questões, levando em consideração aquilo que ele já sabia e incitando-o a verificar a validade do modelo em si. Argumentou ainda, que o diagrama AVM o ajudou a entender a questão física abordada por ter que relacionar a parte teórica com a prática, ao construí-lo. Em linhas gerais ele definiu a elaboração do diagrama como a verificação do que se sabe e do modo como se espera que os fenômenos evoluam para depois, através da exploração da simulação, testar se as previsões são condizentes com o previsto. Caso contrário, deve-se investigar o motivo e corrigir os erros. Isto, segundo seu depoimento, o deixou mais “tranquilo” ao tratar com os problemas relacionados ao conteúdo e tornar a matéria “mais presente” em sua cabeça. Em relação ao texto de apoio, salientou que a linguagem e o direcionamento dado ao mesmo o ajudaram a entender o conteúdo sem maiores dificuldades.

#### **Aluno 4:**

O Aluno 4 desde o primeiro dia de aula mostrou-se pontual, disciplinado e estudioso. Participa em sala de aula, sempre que solicitado, mas não gostou de trabalhar em grupo, preferindo trabalhar individualmente e, se possível, em casa. De modo geral, podemos dizer que encarava as tarefas em sala de aula como um excesso, visto que já está habituado a fazê-las, corretamente, em casa. Não apresentou maiores dificuldades tanto na Lei de Gauss, quanto na Lei de Ampère. Disse acreditar que as atividades usando o computador o ajudaram bastante a ver o que estava acontecendo nas situações físicas apresentadas e por lhe darem a possibilidade de “mexer” na simulação e visualizar o que acontece. Salientou, em várias situações, que considera boas as atividades de simulação e modelagem computacionais, entretanto acha inadequado o tempo dispensado às mesmas, argumentando que necessita de mais tempo para poder melhor entendê-las. A nosso ver, esse aluno pode ser definido como um autodidata, e se adaptaria bem a um método de

ensino em que essa característica se fizesse presente, como o método Keller, por exemplo. Em relação ao diagrama AVM, comentou que foi mais interessante conhecê-lo como uma ferramenta em si, do que utilizá-lo. Apontou que a solicitação do que deveria ter sido preenchido em cada campo do diagrama foi de difícil entendimento, e que não aconselharia este tipo de atividade novamente, a menos que houvesse mais tempo para realizá-la. Em relação ao texto de apoio, a nosso ver, foi considerado pelo Aluno 4 como um texto dirigido aos questionamentos que seriam realizados em futuras avaliações.

### **Aluno 5:**

Em nossa observação do Aluno 5 destacamos dois aspectos: a dedicação à disciplina em geral e a dificuldade de visualização das situações físicas no quadro negro, em sala de aula. Foi um dos alunos mais participativos em sala de aula sendo, sem dúvida, aquele que mais expressou suas dificuldades de aprendizagem ao professor. Em especial, destacou a resolução de exercícios em sala de aula e a ajuda dos colegas nas atividades em grupo, como uma boa estratégia para aprender. Como já foi mencionado, sua maior dificuldade esteve relacionada à visualização, acrescentando que não consegue de fato aprender, se não conseguir “enxergar” o que está acontecendo. Por este motivo, o Aluno 5 destacou em vários momentos, que as atividades de simulação computacional tiveram um papel fundamental na reificação dos conceitos de campo elétrico, campo magnético, fluxo do campo elétrico e da circulação do campo magnético. Salientou também, que sua interação com as simulações permitiram, ao alterar alguns parâmetros, que pudesse ver o que acontecia com o sistema de modo a gerar uma compreensão de como as grandezas estão relacionadas. Quanto à atividade com o diagrama AVM, acreditamos que além de ter sido considerado um “exercício” diferente, tenha também o levado a refletir sobre os princípios físicos que fundamentavam a simulação proposta. Comparou o texto de apoio com o livro-texto, argumentando que o primeiro abordava o conteúdo de forma mais teórica e explicativa do que o segundo, que privilegiava a parte prática, resolução de

exercícios. Em relação à Lei de Gauss, detectamos que o Aluno 5 apresentou dificuldades na diferenciação de campo elétrico e fluxo do campo elétrico, talvez devido a não representação das linhas de campo nas questões apresentadas na Entrevista 1. Em relação à Lei de Ampère a dificuldade detectada diz respeito a validade da Lei de Ampère, em que não associou a mudança de sentido na corrente elétrica conduzida por um fio, com uma variação do fluxo do campo elétrico deste fio, ou seja, como uma variação desta corrente.

### **Aluno 6:**

O Aluno 6 na resolução de exercícios em sala de aula, na maioria das vezes, priorizou o desenvolvimento matemático em relação à compreensão física dos fenômenos. Segundo sua opinião, um dos pontos fortes das aulas teóricas foi a realização de exercícios logo após o conteúdo ter sido discutido, dando maiores oportunidades para o esclarecimento de possíveis dúvidas que tenham surgido, perguntando diretamente ao professor. A ajuda prestada pelos colegas durante a realização das tarefas em sala de aula também foi destacada. Acreditamos que o Aluno 6, até mesmo por priorizar em demasia os aspectos matemáticos dos problemas físicos apresentados, tenha muita dificuldade em seguir resolvendo um problema, por exemplo, após seus resultados terem dado errado, por não ter feito considerações físicas suficientes para resolver a questão. Quanto ao seu trabalho com as atividades exploratórias de simulação, ele sugeriu em várias situações que elas seriam melhor conduzidas se houvesse mais tempo disponível para a realização das mesmas, mencionando que é preciso um tempo maior para “digeri-las” adequadamente, para em suas palavras: “...se acostumar com o choque entre aquilo que tu pensa e o que é real” e até mesmo dominar melhor o uso do computador como ferramenta. De qualquer modo, ele considera que as atividades no computador são úteis para a visualização do fenômeno físico, para pensar sobre situações que ele não havia pensado antes e também, questionar sobre o que estava aprendendo, a partir da reflexão

das conseqüências de sua interação com as simulações. Sobre o texto de apoio, afirmou que o mesmo está bem formulado e explica determinados pontos de modo mais claro que o livro-texto, sugerindo ainda a inclusão de gráficos para melhorar o texto de apoio. A respeito do diagrama AVM, o Aluno 6 manifestou dificuldades em preenchê-lo, atribuindo isto ao fato de não estar acostumado a ter que explicar de forma tão completa os problemas que resolve. Salienta que ao conseguir elaborar um diagrama AVM de maneira satisfatória facilitaria a resolução de questões de prova e na “vida” em geral. Em relação às Leis de Gauss e Ampère, o Aluno 6 manteve uma visão essencialmente matemática das mesmas, apresentando também dificuldades em relação à validade da Lei de Ampère, confunde o campo magnético com sua circulação e não percebeu que o campo magnético abordado na expressão matemática da Lei Ampère se deve a todas as correntes envolvidas no sistema.

#### **Aluno 7:**

O Aluno 7 no início do semestre faltou a muitas aulas e costumava chegar sempre atrasado. Dependendo do tipo de atividade desenvolvida em sala de aula, ele perdia facilmente a atenção e começava conversas paralelas em sala de aula. Parecia também muito desmotivado nas primeiras semanas, quando acreditamos que ele fosse desistir da disciplina a qualquer momento. Aos poucos, com o desenrolar da realização das aulas, passou de modo crescente a se interessar pelo conteúdo, a participar um pouco mais das aulas e a realizar as tarefas propostas com maior seriedade, o que no início só fazia para “não prejudicar o grupo”. Após algum tempo, mencionou que estava gostando das aulas, pela dinâmica ser diferenciada em relação às demais e que agora, em suas palavras, “... eu via que antes era só muito cálculo e agora eu tô vendo a parte teórica bem melhor”. Em relação aos trabalhos em grupo, destacou o aspecto colaborativo na resolução de problemas, argumentado que nesse tipo de atividade um ajuda o outro, possibilitando uma continuidade do trabalho. Salientou de forma enfática, que acha muito bom fazer

exercícios em sala de aula, porque de outro modo não arranjaria tempo para sentar e fazê-los em casa, leia-se, não teria disposição e concentração para tal. Quanto à realização das atividades exploratórias de simulação, acredita que elas o ajudaram a conhecer melhor o conteúdo, permitindo que ele compreendesse, através da visualização das situações físicas, vários conceitos que não estavam completamente entendidos. De modo geral, observamos que o Aluno 7, conseguiu superar boa parte de suas dificuldades iniciais tanto em relação à Lei de Gauss, quanto em relação à Lei de Ampère. Entretanto, nesta última, ainda não conseguiu perceber que o campo magnético apresentado na expressão matemática da Lei de Ampère é gerado por todas as correntes elétricas presentes no sistema. Em relação ao diagrama AVM, ele argumenta que através de seu uso conseguiu ter uma visão holística do conteúdo abordado e também dirigido de forma organizada, o processo de resposta às questões que se busca resolver. Em relação ao texto de apoio, o Aluno 7 o descreveu como um texto claro que lhe facilitou a compreender melhor o conteúdo, salientando que através dele conseguiu perceber que a Lei de Ampère só pode ser aplicada a situações com corrente constante.

### **Aluno 8:**

O Aluno 8 demonstrou um comportamento retraído e pouco participativo nas aulas, costumando também chegar atrasado na maioria delas. Entretanto, observamos que este aluno possui uma grande facilidade para entender a matéria quando motivado e que, com um pouco de cobrança, seu desempenho e motivação melhoraram muito. Mostrou-se também motivado a trabalhar em grupo, e, principalmente, porque estas tarefas faziam parte da avaliação da disciplina. Outro fator positivo, por ele destacado, é que neste tipo de trabalho um pode tirar a dúvida do outro quando elas aparecem. Em relação ao seu aprendizado da Lei de Gauss, detectamos a visão desta Lei apenas como um método para resolver problemas e em relação à Lei de Ampère, observamos uma dissociação entre o raciocínio de que todas as correntes do sistema contribuem para o campo magnético

resultante e o uso desta informação na expressão matemática da referida lei. Isto aparece repetidas vezes ao longo de nossas observações. Quanto à realização de atividades exploratórias de simulação, o Aluno 8 destacou a possibilidade de interagir com as mesmas e poder visualizar o que acontece, como ponto forte, dando um passo além do que apenas ficar ouvindo e acreditando “piamente” no que diz o professor. Em relação ao diagrama AVM, acredita que o mesmo o tenha motivado a refletir sobre como considerar informações conhecidas sobre o sistema físico em questão, no intuito de resolver o problema e ainda buscar novas informações que não tenham sido levadas em conta, mas possam ser úteis. Sobre o texto de apoio, na parte da Lei de Gauss, demonstrou ter gostado do texto, afirmando que o ajudou a compreender o que é o fluxo do campo elétrico e o porquê da arbitrariedade do formato das superfícies gaussianas. Na parte referente à Lei de Ampère não o leu com atenção.

#### **Aluno 9:**

O Aluno 9 não participou das atividades envolvendo a Lei de Ampère por problemas de saúde. Em relação à Lei de Gauss, mostrou uma boa compreensão dos seus aspectos teóricos e matemáticos, tendo feito uma pequena confusão, que acreditamos que pode ter sido circunstancial, entre campo elétrico e fluxo do campo elétrico. Seu comportamento em sala de aula denotou uma preocupação em aprender enquanto a aula está sendo realizada, pois, por motivos pessoais, dificilmente faz exercícios em casa. Este aluno costuma trabalhar de forma individual mesmo em tarefas em grupo, demonstrando uma confiança em sua capacidade de resolução de problemas e interagindo com os colegas somente o necessário para comparar com suas respostas. Um aspecto também destacado pelo Aluno 9, na resolução de problemas em sala de aula, é a possibilidade de trabalhar com o conteúdo ministrado logo após ele ter sido visto, permitindo que algum aspecto que não tenha ficado claro, ou dúvidas em geral, sejam elucidadas no momento em que ocorrem. Ele salienta também que, quando começou a cursar esta disciplina no

semestre anterior, havia sentido muita dificuldade em compreender o que o professor explicava, pois as aulas tinham uma ênfase essencialmente matemática e ele não conseguia acompanhar o porquê da realização de determinados cálculos. Em relação às atividades exploratórias de simulação, mencionou o conflito gerado entre aquilo que pensava e o que era mostrado no computador, como um aspecto importante no seu aprendizado. Sobre o texto de apoio destaca a abordagem do fluxo do campo elétrico através de várias situações como uma dos aspectos que o ajudaram a compreender melhor este conceito.

### **Aluno 10:**

O Aluno 10 demonstrou grande interesse e boa vontade em aprender. Participou das aulas de forma espontânea e demonstrou dedicação à disciplina. Entretanto, pudemos observar o emprego, de modo acentuado, de uma estratégia essencialmente memorística, para aprender. Este aluno, por dificuldades com a matemática, procurou decorar os passos intermediários entre os cálculos, de modo a reproduzi-los quando solicitado, ficando em segundo plano a compreensão física do assunto em questão. Em relação tanto à Lei de Gauss, quanto à Lei de Ampère, acreditamos que o Aluno 10 não as tenha compreendido, ou, se compreendeu, deve ter sido apenas em um nível muito superficial. Analisando principalmente os resultados das entrevistas vemos que este aluno continua apresentado quase todas as dificuldades da Tabela 6.1. Talvez, por dificuldades enfrentadas em outras disciplinas, ou outro fator que desconhecemos, ficamos com a impressão que este aluno está buscando aprender através da memorização tudo que lhe é solicitado. Observamos, no entanto, alguma motivação em tentar aprender de outra forma, quando começamos a ser mais procurados por ele, para discutir o texto de apoio e as atividades exploratórias de simulação após a aula. Em relação a estas atividades, salientou o aspecto da visualização como um ponto importante para a sua compreensão do assunto. Na atividade exploratória de modelagem envolvendo diagrama AVM, o Aluno 10 se mostrou motivado com o

desafio gerado pela elaboração do diagrama, apesar de tê-lo achado, inicialmente, difícil de compreender. Ao realizar tarefas em grupo, pareceu se sentir mais à vontade em tirar dúvidas com os colegas, do que procurar o professor para pedir explicação. Sobre o texto de apoio mencionou em várias situações que o achou bem explicativo, de fácil compreensão, mais direcionado ao modo como vínhamos abordando o conteúdo em sala de aula.

### **Aluno 11:**

O Aluno 11 foi um dos alunos mais dedicados da turma, tendo participado de todas as discussões levantadas pelo professor em sala de aula, e completado todas as tarefas e atividades de modo diligente. Em relação à dinâmica em sala de aula, o principal ponto que destacou foi a possibilidade de uma interação maior com o professor. Algo que, segundo ele, não havia tido em outras disciplinas até então. Salienta ainda que, através desta interação, começou a parar para pensar sobre o conteúdo e não somente resolver os exercícios. Quanto à realização dos trabalhos em grupos, o Aluno 11 manifestou, desde as primeiras tarefas, uma preferência por trabalhar individualmente. Sempre que possível, realizou as tarefas de modo independente e depois, apenas comparou suas respostas com a dos colegas, mas argumenta que ao começar a trabalhar em grupos, começou também a aprender a se concentrar e interagir com os colegas, ressaltando que isso ocasionava um fator positivo: conseguiu perceber várias formas de resolver o mesmo problema, em suas palavras “... ver as diferentes formas de ver a mesma coisa e na Física tem muito disso, tu poder resolver uma coisa por vários caminhos...”. Em relação ao texto de apoio, comentou que o mesmo o ajudou a ter uma visão geral das Leis de Maxwell e uma melhor noção de quando e como aplicar a Lei de Gauss. Em termos das atividades exploratórias de simulação, acreditou que as mesmas tenham sido úteis na medida em que pode compreender aspectos que até então não havia conseguido de modo satisfatório, tais como: a natureza do fluxo das linhas de campo através da superfície gaussiana; a questão

do ângulo entre o vetor campo elétrico e o vetor área; a associação de um campo magnético a um determinado ponto do espaço e independentemente da forma assumida pelo laço amperiano utilizado para determiná-lo. Em relação à atividade com o diagrama AVM, entre todos os alunos, pareceu ter sido ele o que mais gostou e tirou proveito do instrumento, argumentando que o mesmo permitiu que ele pudesse relacionar a teoria com a parte “experimental”, apresentada pela simulação, perceber e identificar o erro inserido propositalmente na simulação, determinar quais são as questões fundamentais a serem formuladas para compreender o modelo, e, ao final menciona que o diagrama AVM o ajudou a entender melhor os aspectos teóricos da Lei de Ampère do que as próprias simulações em si. De modo geral apresentou um bom entendimento teórico das Leis de Gauss e Ampère apresentando apenas dificuldades, a nosso ver, circunstanciais sobre as mesmas.

### **Tentativa de interpretação dos resultados**

Considerando os dados oriundos de provas, entrevistas, resolução de tarefas, trabalhos com atividades computacionais e principalmente de nossas observações participantes, buscamos inferir regularidades e encontrar indicadores que nos permitissem construir interpretações dos resultados de modo a gerar uma compreensão contextualizada do processo de ensino-aprendizado desenvolvido no Estudo III. Cabe aqui mencionar que apenas os dados referentes às entrevistas foram apresentados de forma detalhada, por acreditarmos que ficaria redundante apresentar também os resultados da resolução de problemas em provas por parte dos alunos, visto que estes resultados não mostram aspectos que já não estejam sendo explorados nas entrevistas com um grau maior de profundidade. Nossa busca por regularidades partiu de cinco aspectos principais que subjazeram nosso estudo de forma interdependente, a saber: a superação das dificuldades das Leis de Gauss e Ampère; a adoção de um método colaborativo presencial; o uso de atividades exploratórias computacionais; a utilização de um texto de apoio; e a motivação

para aprender gerada pelo uso destes elementos de forma inter-relacionada em ambiente de sala de aula.

Em relação ao método colaborativo presencial, podemos observar que os alunos de modo geral mostraram-se satisfeitos com a resolução de problemas em sala de aula, pelo fato de poderem ver as aplicações e implicações dos aspectos teóricos logo após terem sido abordados, facilitando o estabelecimento de relações entre o conhecimento novo e os subsunçores adequados, em sua estrutura cognitiva. O trabalho cooperativo em geral se mostrou bastante produtivo, permitindo que os alunos fossem além do que normalmente iriam, se estivessem trabalhando de forma individual.

As atividades exploratórias de simulação parecem ter ajudado os alunos a compreenderem melhor os fenômenos físicos estudados, principalmente por fornecerem elementos perceptivos que os ajudaram a visualizar conceitos como, campo elétrico, campo magnético, laço amperiano e superfície gaussiana. A possibilidade de interagir com o computador simulando diferentes configurações dos sistemas, montadas de acordo com o interesse e curiosidade dos alunos, é outra característica que acreditamos tê-los ajudado a compreender melhor, principalmente os conceitos de fluxo do campo elétrico através de uma superfície gaussiana e circulação do campo magnético devido a fios conduzindo corrente elétrica. Notamos também, que a dificuldade DA2 (“superfície amperiana”) não foi detectada e que, freqüentemente, os alunos falavam em “carga líquida”, mas na verdade estavam se referindo à “corrente líquida”. Em nossa análise esta dificuldade, não chega a ser conceitual, estando mais relacionada a um erro de linguagem.

Outro aspecto relevante é o conflito cognitivo gerado pela comparação entre os resultados fornecidos pelas simulações e os resultados previstos inicialmente pelos estudantes. Principalmente na atividade exploratória de modelagem, onde havia um erro propositadamente inserido, notamos indícios de reflexão mais profundos sobre a atividade

do que nas atividades exploratórias de simulação em que, em vários momentos, os estudantes pareceram estar procurando apenas valores para as fórmulas. No centro desta atividade de modelagem, estava a construção de um diagrama AVM, por cada uma das cinco duplas. Podemos observar que sete alunos (Alunos 2, 3, 5, 7, 8, 10 e 11) destacaram que, de alguma forma, a elaboração deste diagrama, os ajudou a refletir sobre a validação dos modelos computacionais, e a pensar de modo mais amplo nas relações entre as componentes teóricas e as metodológicas, subjacentes a construção de um modelo. No Apêndice D, apresentamos dois diagramas AVM elaborados por duas duplas: dupla 1 - Alunos 5 e 11; e dupla 2 - Alunos 4 e 8. Estes diagramas foram escolhidos por representarem duas visões diferentes: a visão do Aluno 4, que achou dispensável a utilização do diagrama nas atividades, e a visão do Aluno 11, que acha que aprendeu melhor através da elaboração do diagrama do que com as atividades exploratórias de simulação em si.

Uma das considerações feitas sobre a aplicação do diagrama AVM, foi o pouco tempo destinado à sua utilização (em torno de 1h e 30min). De fato, também temos esta percepção, de que seria desejável um tempo maior para que os alunos pudessem compreender sua estrutura e completá-lo adequadamente. Devido à nossa preocupação em realizar um estudo ambientado em sala de aula e conduzir as atividades exploratórias dentro do tempo habitual destinado à resolução de exercícios, não discutimos em profundidade todos os campos do Vê. Foram fornecidas aos alunos informações mínimas para uma elaboração funcional do diagrama.

Em relação ao texto de apoio, acreditamos que o mesmo tenha atenuado a visão das Leis de Gauss e Ampère como simples métodos para resolver problemas com alto grau de simetria, mas ainda não alcançou completamente o objetivo desejado. Talvez um material mais completo delineado sob uma perspectiva ausubeliana, seja indicado.

Em linhas gerais, acreditamos que a abordagem adotada no Estudo III contribuiu para uma melhor compreensão das Leis de Gauss e Ampère, embora ainda persistam várias das dificuldades inerentes à aprendizagem destas leis.

Não conseguimos isoladamente, e nem esta era a intenção, determinar a importância individual de cada estratégia didática, mas pudemos perceber claramente quanto positivo foi para o aprendizado dos conteúdos de Física a possibilidade de interação e de visualização fornecidas pelas simulações, a realização de tarefas avaliadas, realizadas em pequenos grupos em sala de aula, o uso de um texto de apoio com uma abordagem diferenciada, enfocando a importância física das Leis de Gauss e Ampère, e por fim, acreditamos que a utilização de algum instrumento como o diagrama AVM, possa vir a ser utilizado de modo a levar o aluno a se comprometer com seu próprio aprendizado, questionando reflexivamente a física representada nos modelos computacionais.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Procuramos nesta tese abordar um problema sempre atual que é o ensino de Física, porém o fizemos desde uma perspectiva didática que é atual por sua contemporaneidade, não por sua permanência.

Cremos que não é preciso argumentar sobre a importância de melhorar o ensino de Física em todos os níveis de escolaridade. A situação é catastrófica: nos primeiros anos do ensino fundamental os conceitos físicos são introduzidos por docentes sem nenhuma formação em Física; no ensino médio há cada vez menos aulas de Física e a preparação para o vestibular distorce completamente a educação científica; no ensino superior os alunos aprendem a Física mecanicamente, apenas aqueles que vão ser físicos, ou professores de Física, acabam dando significado aos conceitos, modelos, teorias e procedimentos da Física.

Um grande esforço tem sido feito há décadas, em nível internacional, para melhorar o ensino de Física, tanto através da pesquisa nessa área como do desenvolvimento de materiais educativos. Os resultados, infelizmente, têm sido modestos, mas, agora, com as tecnologias de informação abrem-se novas perspectivas, novos entusiasmos e novas esperanças. Além disso, há também uma tendência a, de fato, centrar o ensino no aluno e na atividade colaborativa, minimizando a exposição transmissiva do conhecimento.

Novamente, dentro dessas tendências atuais, registram-se atividades de pesquisa e desenvolvimento voltadas para o ensino da Física, porém muito mais na segunda vertente. É enorme a quantidade de novos materiais e estratégias que estão sendo propostas para o ensino da Física, tanto em âmbito internacional como no país. No entanto, em termos de pesquisa, há pouco.

Certamente, não basta apenas usar tecnologias sofisticadas para que se resolva o problema do ensino da Física. Simplesmente deixar de ministrar aulas expositivas e passar a usar ambientes virtuais ou *softwares* supostamente maravilhosos é cometer o erro de sempre. Não se pode esquecer o sujeito que aprende, não se pode ignorar o papel fundamental da interação social na reconstrução do conhecimento no aprendiz, não é possível deixar de lado a diversidade de materiais e estratégias. E, provavelmente, é um grande erro pensar em desenvolvimento de materiais instrucionais sem pesquisa.

Tendo isso em mente partimos para uma atividade de pesquisa – concretizada em três estudos relacionados – em ensino de Física envolvendo simulação e modelagem computacionais, breves exposições, atividade colaborativa presencial e, em menor escala, textos de apoio.

Um dos estudos foi na linha da pesquisa quantitativa e os outros dois no enfoque qualitativo à pesquisa educacional. Não chegamos a conclusões definitivas, e não era esse nosso objetivo, mas podemos dizer que aprendemos muito. Aprendemos que as atividades de simulação e modelagem computacionais são úteis no ensino da Física e devem ser a ele incorporadas. Há dificuldades, particularmente no uso da modelagem, assim como há alunos que não gostam. Mas, ainda assim, não temos dúvidas em dizer que são úteis, no sentido de serem potencialmente facilitadoras de uma aprendizagem significativa dos conteúdos declarativos e procedimentais da Física, bem como contribuir para uma mudança atitudinal dos alunos em relação à Física.

Aprendemos também que a participação ativa do aluno no processo educativo – seja na negociação de significados com o professor, seja em atividades colaborativas com seus colegas – é imprescindível para a aprendizagem significativa.

Aprendemos igualmente que materiais instrucionais – sejam eles os clássicos materiais escritos ou os modernos recursos multimídia – devem ser delineados, planejados

cuidadosamente, para facilitar esse tipo de aprendizagem. Simplesmente criar materiais, sem levar em conta o aluno, é trabalhar às cegas e, provavelmente, perda de tempo.

No Ensino de Física em particular comumente confunde-se pesquisa e desenvolvimento instrucional e isso pode estar ocorrendo novamente na área das tecnologias computacionais aplicadas ao Ensino de Física. No passado era comum confundir-se a produção de equipamento de laboratório ou a produção de livros e vídeos didáticos com pesquisa em ensino de Física. Agora a confusão pode estar na produção de *softwares*, ambientes virtuais e outros recursos computacionais. Se assim for, podemos estar testemunhando, outra vez, um grande desperdício de esforços e entusiasmo. Não se melhora o ensino simplesmente produzindo novos e sofisticados recursos instrucionais. O desenvolvimento instrucional deve estar acoplado à pesquisa em ensino ou, pelo menos, levar em conta o conhecimento produzido pela pesquisa em ensino e os enfoques teóricos sobre aprendizagem compartilhados pela comunidade de educadores e pesquisadores em Ensino de Física. Usar tecnologias computacionais no Ensino de Física sem, pelo menos, um referencial teórico sobre aprendizagem, sem, no mínimo, uma concepção teórica sobre como o sujeito aprende, pode ser um erro igual ao já cometido com os equipamentos, livros, vídeos e outros recursos instrucionais.

Outra constatação, que não chega a surpreender, de nossa revisão da literatura, mas que vale a pena destacar aqui, é a acentuada predominância da Mecânica Newtoniana no que se refere ao conteúdo envolvido. Grande parte da pesquisa e do desenvolvimento instrucional em Ensino de Física, no passado, foi dedicada a esse conteúdo e, no presente, continua sendo. Ainda que a tecnologia seja de última geração o conteúdo é de séculos atrás. É claro que a Mecânica é importante. É claro que a Mecânica é uma grande herança científica que temos. Mas será que a Física é só Mecânica? Será que só sabemos Mecânica? E o Eletromagnetismo, a Ótica, a Termodinâmica, a Relatividade, a Mecânica Quântica, ...? Será que o ensino da Física tem que necessariamente começar pela

Mecânica? Nos parece que as respostas a estas perguntas passam por uma reformulação do currículo de Física nas escolas e as tecnologias computacionais, diferentemente do que sugerem os resultados de nossa revisão da literatura, podem ter um papel importante nesse processo.

Particularmente em relação ao Estudo II gostaríamos de tecer alguns comentários.

Foi feito um grande esforço: dois professores (o professor titular da disciplina e o pesquisador) deram aulas a trinta alunos, durante um semestre, seis aulas por semana, usando sistematicamente exposições e atividades colaborativas presenciais, às quais foram complementadas com atividades computacionais exploratórias no caso da Lei de Gauss e de Ampère. Os alunos parecem ter gostado muito da abordagem didática e corresponderam ao esforço dos professores, comparecendo às aulas e participando bastante. Ainda assim, não ficamos satisfeitos: os alunos continuaram percebendo as leis básicas do Eletromagnetismo como métodos ou talvez fórmulas, para resolver problemas. Talvez tenham entendido melhor como se usa as Leis de Gauss e Ampère para calcular campos elétricos e magnéticos, mas não deram a elas o significado de leis básicas que descrevem fenômenos eletromagnéticos fundamentais.

O que teria acontecido? Em primeiro lugar, é preciso se reconhecer que talvez não tenhamos sido capazes de detectar uma aprendizagem mais significativa das Leis de Gauss e Ampère. Rigorosamente falando, à luz da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a melhor maneira de colher evidências de aprendizagem significativa é propor ao aluno situações novas e não familiares que requeiram máxima transformação do conhecimento adquirido (Ausubel, 2003). Não fizemos isto porque na nossa cultura educacional o aluno nunca é preparado para enfrentar situações novas e não-familiares. Fazê-lo neste estudo geraria, no mínimo, descontentamento entre os alunos e prejudicaria nossa pesquisa. Propusemos, então, questões tradicionais, problemas clássicos, e

perguntamos aos alunos qual o significado físico dessas leis e quais as dificuldades que eles tiveram para aplicá-las. O resultado foi decepcionante – os alunos viam as leis apenas como método para resolver problemas – mas com os “instrumentos” que usamos não poderia mesmo ser melhor.

Outra possibilidade é que por melhor que seja o ensino de Física em uma determinada disciplina em um certo contexto, a representação que os alunos têm da Física é a da “fórmula para resolver problemas”. A Física geralmente começa na oitava série do Ensino Fundamental, é estudada no ensino médio e decorada para o vestibular. Ao longo dessa trajetória o ensino de Física vai gerando nos alunos a “cultura da fórmula”. Nada mais natural, então, que nossos estudantes de Engenharia tenham interpretado as Leis de Gauss e Ampère como fórmulas para calcular campos em situações de simetria esférica, cilíndrica e planar. Provavelmente também interpretaram as Leis de Coulomb, de Biot-Savart e de Faraday-Lenz apenas como fórmulas da Física.

Acreditamos que as atividades computacionais motivaram os alunos a aprender e facilitaram a visualização, interativa, das situações problemáticas. Entretanto, isso não pareceu ser suficiente para mudar a “cultura da fórmula”, pelo menos não no pouco tempo disponibilizado para as atividades computacionais relativas a cada lei (3 h e 20 min) o que pode não ter gerado conseqüências educacionais mais significativas.

Naturalmente, cabem aqui também comentários gerais sobre o Estudo III. Porém, antes de fazê-los vale a pena retomar as questões norteadoras da pesquisa: *atividades de simulação e modelagem computacionais podem contribuir eficazmente no processo de ensino/aprendizagem das Leis de Maxwell proporcionando uma aprendizagem mais significativa dessas leis? Como e quanto contribuem? Quais características reunidas pelas atividades de simulação e modelagem computacionais facilitam a aquisição do conhecimento científico? Funcionam como mediadoras? São auto-suficientes?*

A pesquisa qualitativa feita particularmente no Estudo III nos mostrou que tais questões eram mesmo apenas norteadoras. Como foi dito nos comentários iniciais deste capítulo aprendemos que as atividades de simulação e modelagem computacionais são recursos auxiliares potencialmente significativos ao aprendizado das Leis de Maxwell na Física Geral. Talvez não seja possível neste contexto falar em eficácia das mesmas, mas de modo geral observamos uma nítida amenização das dificuldades enfrentadas pelos alunos. Algo similar pode ser dito da atividade colaborativa presencial, tendo sido bem recebida pelos alunos e funcionado bem, mas ainda assim, não foi completamente eficiente, algumas dificuldades de aprendizagem persistiram.

A questão é que o processo de ensino-aprendizagem é complexo, a dinâmica estabelecida em sala de aula também, e possivelmente não existam soluções “mágicas”, ou completamente eficientes. As tecnologias de informação e comunicação devem ser encaradas apenas como, já salientamos, recursos auxiliares, não tendo sentido pensá-las como soluções definitivas ou ainda como substitutas da ação docente.

A atividade colaborativa também é um recurso valioso centrando o ensino no aluno, mas a mediação do professor continua fundamental.

Além disso, é preciso ter sempre em mente que a aprendizagem significativa é progressiva e o que devemos esperar de estratégias de ensino, envolvendo ou não recursos tecnológicos, é que auxiliem neste progresso.

Finalmente, gostaríamos de comentar um resultado que a nosso ver foi marcante e que resultou das dificuldades que tivemos na implementação de uma prática reflexiva em sala de aula a partir das atividades de simulação e modelagem computacionais: o diagrama AVM.

Por vezes, deslumbrados com as possibilidades oferecidas pelos recursos tecnológicos, imaginamos que certas representações “falam por si”, nos parecendo que, assim como somos capazes de enxergar de forma cristalina toda a estrutura subjacente às mesmas, os alunos também podem, bastando aplicá-las que o entendimento físico “emergirá”. Tão importante quanto ter uma boa ferramenta para promover o aprendizado é saber usá-la adequadamente, e no caso da simulação e da modelagem computacional é necessário, salientemos uma vez mais, incentivar os alunos a pensarem reflexivamente sobre aquilo que estão fazendo, sobre a física envolvida nos modelos. Caso contrário, nossas estratégias de ensino poderão tornar-se nada mais do que simples jogos de entretenimento para os estudantes.

A continuidade da presente pesquisa dar-se-á principalmente no uso do diagrama AVM como um elemento viabilizador de uma modelagem computacional reflexiva aplicada ao ensino de Física em ambiente de sala de aula. Outras perspectivas futuras que podemos apontar passam por uma nova aplicação da abordagem didática utilizada no Estudo III envolvendo também as leis de Ampère-Maxwell, Faraday-Lenz e de Gauss para o magnetismo; e por uma integração de experiências de laboratório com atividades de simulação e modelagem computacionais, aumentando a diversidade de estratégias e intensificando o enfoque fenomenológico das leis de Maxwell do Eletromagnetismo.

## REFERÊNCIAS

ACOSTA, G. J. D.; SÁNCHEZ, F. P.; LAPOLLI, A. L. Tutorial de cinemática: resultados teóricos do processo de investigação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 91-94, mar. 1999.

AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F. Aquisição de dados usando LOGO e a porta de jogos do PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 371-380, dez. 2001.

AIELLO-NICOSIA, M. L. et al. Teaching mechanical oscillations using an integrated curriculum. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n. 8, p. 981-995, Sept./Oct. 1997.

ALVES, D. T.; AMARAL, J. V.; MEDEIROS NETO, J. F. Aprendizagem de eletromagnetismo via programação e computação simbólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 201-213, jun. 2002.

ANDAROLO, G. et al. Construction and validation of a computer-based diagnostic module on average velocity. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 31, n. 1, p. 53-63, Jan. 1994.

ANDAROLO, G.; BELLOMONTE, L.; SPERANDEO-MINEO, R. M. A computer-based learning environment in the field of newtonian mechanics. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n. 6, p. 661-680, July 1997.

ANDAROLO, G.; DONZELLI, V.; SPERANDEO-MINEO, R. M. Modelling in physics: teaching the role of computer simulation. **International Journal of Science Education**, London, v. 13, n. 3, p. 243-254, July/Sept. 1991.

ANDRÉ, M. E. D. A. **Etnografia da prática escolar**. 2. ed. Campinas: Papirus, 1998.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividades de modelagem computacional no auxílio na interpretação de gráficos da Cinemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 179-184, abr./jun. 2004a.

\_\_\_\_\_. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, v. 4, n. 3, p. 5-18, set./dez. 2004b.

\_\_\_\_\_. Physics students' performance using computational modelling activities to improve Kinematics graphs interpretation. **Computers & Education**, v. (submetido à publicação), n., p., 2005a.

\_\_\_\_\_. 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. **Enseñanza de las Ciencias**, (aceito para publicação), Madrid, v. especial, n. 1, p., Set. 2005b.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BACON, R. A. The use of computers in the teaching of Physics. **Computers & Education**, Elmsford, v. 19, n. 1/2, p. 57-66, July/Aug. 1992.

BACON, R. A.; SWITHEBY, S. A strategy for the integration of IT-LED methods into Physics - the STOMP approach. **Computers & Education**, Elmsford, v. 26, n. 1, p. 135-141, 1996.

BAKAS, C.; MIKROPOULOS, T. A. Design of virtual environments for the comprehension of planetary based on students' ideas. **International Journal of Science Education**, London, v. 25, n. 8, p. 949-967, 2003.

BAKER, M.; LUND, K. Promoting reflective interactions in a CSCL environment. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 13, n. 3, p. 175-193, Sept. 1997.

BARAB, S. A. et al. Virtual solar system project: building understanding through model building. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 37, n. 7, p. 719-756, 2000.

BARBETA, V. B.; MARZZULLI, C. R. Experimento didático para determinação da velocidade de propagação do som no ar, assistido por computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 447-455, dez. 2000.

BARBETA, V. B.; YAMAMOTO, I. Desenvolvimento e utilização de um programa de análise de imagens para o estudo de tópicos de mecânica clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 158-167, jun. 2002.

BEICHNER, R. J. The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 27, n. 8, p. 803-815, Nov. 1990.

\_\_\_\_\_. Testing student interpretation of kinematics graphs. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 62, n. 8, p. 750-762, Aug. 1994.

\_\_\_\_\_. The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n. 10, p. 1272-1277, Oct. 1996.

BELLOMONTE, L.; SPERANDEO-MINEO, R. M. Mathematical modelling of data: software for pedagogy. **Computers & Education**, Elmsford, v. 21, n. 3, p. 263-269, 1993.

BELLONI, M.; CHRISTIAN, W. **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.

BENENSON, W.; BAUER, W. Frame grabbing techniques in undergraduate physics education. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 61, n. 9, p. 848-851, Sep. 1993.

BLEICHER, L. et al. Análise e simulação de ondas sonoras assistidas por computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 129-133, jun. 2002.

BOLTON, J. P. R.; EVERY, I. The water videodisc: a problem-solving environment. **Computers & Education**, Elmsford, v. 15, n. 1, p. 165-172, 1990.

BONHAM, S. W.; DEARDORFF, D. L.; BEICHNER, R. J. Comparison of student performance using web and paper-based homework in college-level Physics. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 40, n. 10, p. 1050-1071, 2003.

BONHAM, S. W.; RISLEY, J. S.; CHRISTIAN, W. Using Physlets to teach Electrostatics. **The Physics Teacher**, New York, v. 37, n. 5, p. 276-280, May 1999.

BRUNGARDT, J. B.; ZOLLMAN, D. Influence of interactive videodisc instruction using simultaneous-time analysis on kinematics graphing skills of high schools physics students. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 32, n. 8, p. 855-869, Oct. 1995.

CALVERLEY, G.; FINCHAM, D.; BACON, D. Modernisation of a traditional Physics course. **Computers & Education**, Elmsford, v. 31, n., p. 151-169, 1998.

CAMILETTI, G. A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 214-228, ago. 2001.

CAMILETTI, G.; FERRACIOLI, L. A utilização da modelagem computacional semiquantitativa no estudo do sistema mola-massa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 110-123, jun. 2002.

CAMPBELL, D. T.; STANLEY, J. C. Experimental and quasi-experimental designs for research on teaching. In: IN: GAGE, N. L. **Handbook of research in teaching**. Chicago: Rand McNally, 1963. p. 171-246.

CAVALCANTE, M. A.; PIFFER, A.; NAKAMURA, P. O uso da internet na compreensão de temas de física moderna para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 108-112, mar. 2001.

CAVALCANTE, M. A. et al. O estudo de colisões através do som. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 150-157, jun. 2002.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Estudo do lançamento horizontal utilizando o computador para aquisição e análise de dados. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 14, n. 3, p. 276-287, dez. 1997.

\_\_\_\_\_. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 298-316, dez. 2001.

CHANLIN, L. Formats and prior knowledge on learning in a computer-based lesson. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 17, n., p. 409-419, 2001.

CÓRDOVA, R. S. et al. Simulación computacional de experiencias de física moderna. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 147-151, ago. 1992.

COX, A. J.; BELLONI, M.; CHRISTIAN, W. Teaching Physics with animated ranking task exercises. **The Physics Teacher**, New York, v.? n.? p.? 2004.

CROSBY, M. E.; IDING, M. K. The influence of a multimedia physics tutor and user differences on the development of scientific knowledge. **Computers & Education**, Elmsford, v. 29, n. 2/3, p. 127-136, Nov. 1997.

DHILLON, A. S. An interactive system for learning rotational dynamics. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 13, n., p. 59-67, 1997.

DIAS, N. L.; PINHEIRO, A. G.; BARROSO, G. C. Laboratório virtual de física nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 232-236, jun. 2002.

DISESSA, A. **Changing minds: computers, learning, and literacy**. Berkeley: MIT Press, 2001.

DOERR, H. M. Experiment, simulation and analysis: an integrated instructional approach to the concept of force. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n. 3, p. 265-282, Mar. 1997.

DOMINGUES, M. O. Introdução a programas físico-matemáticos livres. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 148-156, jun. 2003.

ECKSTEIN, S. G. Verification of fundamental principles of mechanics in the computerized student laboratory. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n. 10, p. 909-915, Oct. 1990.

ELIOTT, J. **El cambio educativo desde la investigación-acción**. Madrid: Ediciones Morata, 1993.

FAGUNDES, D. et al. Usando a porta paralela do micro PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 196-201, jun. 1995.

FINN, J. D. Analysis of variance and covariance. In: KEEVES, J. P. **Educational research, methodology, and measurement: an international handbook**. Cambridge: Pergamon, 1997. p.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 259-272, set. 2003.

GARCIA, A. F. Curso interactivo de física en Internet: dinámica de los sistemas de partículas. **Revista Chilena de Educación Científica**, Santiago, v. 1, n. 2, p. 2-6, 2003.

GARCÍA, M. J. E. et al. Curso interactivo de acústica de libre acceso en Internet. **Revista Chilena de Educación Científica**, Santiago, v. 2, n. 2, p. 2-6, 2004.

GOBARA, S. T. et al. Estratégias para utilizar o programa Prometeus na alteração das concepções em mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 134-145, jun. 2002.

GOLDMAN, C.; LOPES, E.; ROBILOTTA, M. R. Um pouco de luz na lei de Gauss. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 3-15, set. 1981.

GONÇALVES, W. M.; HEINRICH, A. F.; SARTORELLI, J. C. Aquisição de dados com a porta de jogos de microcomputadores Apple. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 13, n., p. 63-76, dez. 1991.

GRAYSON, D. J.; McDERMOTT, L. C. Use of the computer for research on student thinking in physics. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n. 5, p. 557-565, May 1996.

GRECA, I.M.; MOREIRA, M. A. Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. **Science Education**, New York, v. 86, n. 1, p. 106-121, Jan. 2002.

GUISASOLA, J. et al. 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**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 195-206, jun. 2003.

GUTIÉRREZ, H. C. Las nuevas TIC, teorías del aprendizaje y enseñanza de la física. **Revista Chilena de Educación Científica**, Santiago, v. 3, n. 1, p. 18-21, 2004.

HAAG, R. Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

HALLOUN, I. Schematic modeling for meaningful learning of physics. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 33, n. 9, p. 1019-1041, Nov. 1996.

HENNESSY, S. et al. Design of a computer-augmented curriculum for mechanics. **International Journal of Science Education**, London, v. 17, n. 1, p. 75-92, Jan./Feb. 1995.

\_\_\_\_\_. A classroom intervention using a computer-augmented curriculum for mechanics. **International Journal of Science Education**, London, v. 17, n. 2, p. 189-206, Mar./Apr. 1995.

HOWE, C.; TOLMIE, A. Computer support for learning in collaborative contexts: prompted hypothesis testing in physics. **Computers & Education**, Elmsford, v. 30, n. 3/4, p. 223-235, Apr./May 1998.

HSU, Y.-S. The impacts of a web-aided instructional simulation on science learning. **International Journal of Science Education**, London, v. 24, n. 9, p. 955-979, Sept. 2002.

JÁCOME, S. S. B. et al. Visualizando os modos normais de vibração com o computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 214-220, jun. 2002.

JIMOYIANNIS, A.; KOMIS, V. Computer simulations in Physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. **Computers & Education**, Elmsford, v. 36, n., p. 183-204, 2001.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models**. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

JONASSEN, D. H.; CARR, C.; YUEH, H.-P. **Computers as Mindtools for Engaging Learners in Critical Thinking**. Disponível em: <<http://tiger.coe.missouri.edu/~jonassen/Mindtools.pdf>> Acesso em: 10 de junho 2005.

JONG, T. D. et al. Self-directed learning in simulation-based discovery environments. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 13, n. 14, p. 235-246, 1998.

\_\_\_\_\_. The integration of computer simulation and learning support: an example from the physics domain of collisions. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 36, n. 5, p. 597-615, May 1999.

KASHY, E. et al. CAPA: an integrated computer-assisted personalized assignment system. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 61, n. 12, p. 1124-1130, Dec. 1993.

KEARNEY, M. et al. Student and teacher perceptions of the use of multimedia supported predict-observe-explain tasks to probe understanding. **Research in Science Education**, Amsterdam, v. 31, n., p. 589-615, 2001.

KELLY, G. J.; CRAWFORD, T. Students' interaction with computer representations: analysis of discourse in laboratory groups. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 33, n. 7, p. 693-707, Sept. 1996.

KINDERMAN, J. V. A computing laboratory for introductory quantum mechanics. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n. 6, p. 568-573, June 1990.

KLEER, A. A.; THIELO, M. R.; SANTOS, A. de C. K. dos A física utilizada na investigação de acidentes de trânsito. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 14, n. 2, p. 160-169, ago. 1997.

KOFMAN, H. A. Integración de las funciones constructivas y comunicativas de las NTICs en la enseñanza de la física universitaria y la capacitación docente. **Revista de Enseñanza de la Física**, Rosario, v. 17, n. 1, p. 51-62, 2004.

KRAPAS, S.; ALVES, F.; CARVALHO, L. R. de Modelos mentais e a lei de Gauss. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 7-21, jan./abr. 2000.

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**. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da Lei de Gauss em nível de física Geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. 2000. 99 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

LEWIS, R. A.; HARPER, B. M.; WILSON, M. Computer assignments and problems classes for physics students. **Computers & Education**, Elmsford, v. 16, n. 4, p. 349-362, 1991.

LI, Y.; BORNE, I.; O'SHEA, T. A scenario design tool for helping students learn mechanics. **Computers & Education**, Elmsford, v. 26, n. 1, p. 91-99, 1996.

MACEDO, H. T.; MACEDO, C. A. Propriedades mecânicas e geométricas de objetos homogêneos delgados e poligonais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 196-200, jun. 2002.

MAGALHÃES, M. G. M. et al. Utilizando tecnologia computacional na análise quantitativa de movimentos: uma atividade para alunos do ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 97-102, jun. 2002.

MALMANN, L.; MOREIRA, M. A. *Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Faraday-Lenz, à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird*. Submetido a publicação (2005).

MAPS, J. A computer-based data acquisition laboratory for undergraduates. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 61, n. 7, p. 651-655, July 1993.

MARTÍNEZ-JIMÉNEZ, P.; ÁLVAREZ, J. L.; PEDRAJAS, A. P. Simulación mediante ordenador de movimientos bidimensionales en medios resistentes. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 1, p. 30-38, 1994.

MASSONS, J. et al. Electrostática y EAO: una experiencia de simulación. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 11, n. 2, p. 179-183, 1993.

MATZEN, C. P. Modelamiento y simulación computacional en la enseñanza y aprendizaje de la física. **Revista Chilena de Educación Científica**, Santiago, v. 1, n. 2, p. 8-14, 2003.

McDERMOTT, L. C. Research and computer-based instruction: opportunity for interaction. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n. 5, p. 452-462, May 1990.

McDERMOTT, L. C.; ROSENQUIST, M. L.; van ZEE, E. H. Student difficulties in connecting graphs and physics: examples from kinematics. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 55, n. 6, p. 503-513, June 1987.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. de Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.

MÉHEUT, M. Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of gases: the parts played by questions and by a computer-simulation. **International Journal of Science Education**, London, v. 19, n. 6, p. 647-660, July 1997.

MONAGUAN, J. M.; CLEMENT, J. Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. **International Journal of Science Education**, London, v. 21, n. 9, p. 921-944, Sept. 1999.

MONTARROYOS, E.; MAGNO, W. C. Aquisição de dados com a placa de som do computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-62, mar. 2001.

MOREIRA, M. A. **An ausubelian approach to physics instruction**: an experiment in an introductory college course in eletromagnetism. 1977. 258 f. PhD in Science Education - Graduate School, Cornell University, Ithaca, 1977.

\_\_\_\_\_. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: E.P.U., 1999.

\_\_\_\_\_. La teoría del aprendizaje significativo. In: MOREIRA, M. A. & CABALLERO, C. **Textos de apoio do programa internacional de doutorado em ensino de ciências da universidade de Burgos/UFRGS**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. p. 143.

\_\_\_\_\_. Investigación em educación em ciências: métodos cualitativos. **Actas del PIDEC**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 25-54, 2002.

\_\_\_\_\_. Investigación básica en educación en ciencias: una visión personal. **Revista Chilena de Educación Científica**, Santiago, v. 3, n. 1, p. 10-17, 2004.

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem. Os mapas conceituais e o Vê epistemológico**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1993.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A.; PINTO, A. de 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**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 317-325, set. 2003.

MOREIRA, M. A.; SILVEIRA, F. L. **Instrumentos de pesquisa em ensino e aprendizagem: a entrevista clínica e a validação de testes de papel e lápis**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1993.

MORIARTY, P. J. et al. Graphical computing in the undergraduate laboratory: teaching and interfacing with labVIEW. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 71, n. 10, p. 1062-1074, Oct. 2003.

MOSSMANN, V. L. D. F. et al. Determinação dos coeficientes de atrito estático e cinético utilizando-se a aquisição automática de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 146-149, jun. 2002.

NETO, O. N. Soluções eletrônicas para cálculos de velocidade em acidentes de trânsito. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 124-128, jun. 2002.

NOGUEIRA, J. D. S. et al. Utilização do computador como instrumento de ensino: uma perspectiva de aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 517-522, dez. 2000.

NOVAK, J. D. **A theory of education**. Ithaca: Cornell University Press, 1977.

OCHOA, O. R.; KOLP, N. F. The computer mouse as a data acquisition interface: application to harmonic oscillators. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 65, n. 11, p. 1115-1118, Nov. 1997.

PINO SIGARDO, A. O conceito de mediação semiótica em Vygotsky e seu papel na explicação do psiquismo humano. **Caderno Cedex**, v. 20, n. 24, p. 38-59, 2000.

PINTO, A. O. **Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Ampère em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird** Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Ampère em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. 2000. 73 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

POSNER, G. J. et al. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Science Education**, New York, v. 66, n. 2, p. 211-227, Apr. 1982.

PRESTON, D. W.; GOOD, R. H. Computers in the general physics laboratory. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n. 6, p. 766-772, June 1996.

RAVENSCROFT, A.; MATHESON, M. P. Developing and evaluating dialogue games for collaborative e-learning. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 18, n., p. 93-101, 2002.

REDISH, E. F.; WILSON, J. M. Student programming in the introductory physics course: M.U.P.P.E.T. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 61, n. 3, p. 222-232, Mar. 1993.

REIF, F.; SCOTT, L. A. Teaching scientific thinking skills: students and computers coaching each other. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 67, n. 9, p. 819-831, Sept. 1999.

REZENDE, F. Desenvolvimento e avaliação de um sistema hipermídia para facilitar a reestruturação conceitual em mecânica básica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 197-213, ago. 2001.

RIBAS, R. V.; SOUZA, A. F. de; SANTOS, N. Um sistema de aquisição de dados de baixo custo para o laboratório didático. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 293-295, set. 1998.

ROHLING, J. H. et al. Produção de filmes didáticos de curta metragem e CD-ROMs para o ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 168-175, jun. 2002.

RONEN, M.; ELIAHU, E. Simulation as a home learning environment - student's views. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 15, n., p. 258-268, 1999.

\_\_\_\_\_. Simulation - a bridge between theory and reality: the case of electric circuits. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 16, n., p. 14-26, 2000.

ROSA, P. R. S. O uso de computadores no ensino de Física. Parte I: potencialidades e uso real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 182-195, jun. 1995.

ROSCHELLE, J. Beyond romantic versus sceptic: a microanalysis of conceptual change in kinematics. **International Journal of Science Education**, London, v. 20, n. 9, p. 1025-1042, Nov. 1998.

ROTH, W.-M. Affordances of computers in teachers-student interactions: the case of Interactive Physics<sup>TM</sup>. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 32, n. 4, p. 329-347, Apr. 1995.

ROTH, W.-M.; WOSZCZYNA, C.; SMITH, G. Affordances and constraints of computers in Science Education. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 33, n. 9, p. 995-1017, Nov. 1996.

RUSSEL, D. W.; LUCAS, K. B.; MCROBBIE, C. J. The role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in kinematics. **Research in Science Education**, Amsterdam, v. 33, n., p. 217-243, 2003.

\_\_\_\_\_. Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 41, n. 2, p. 165-185, 2004.

SANTOS, A. de C. K. dos Modelamento computacional através do sistema de modelamento celular (CMS): alguns aspectos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 31-39, abr. 1990.

\_\_\_\_\_. Alguns aspectos do uso do sistema de modelamento IQON no ensino de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 8, n. 2, p. 106-117, ago. 1991.

SANTOS, A. de C. K. dos et al. Algumas possibilidades de utilização dos princípios de sistemas de Forrester em tópicos de física, através da ferramenta de modelagem

quantitativa STELLA. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 1, p. 81-95, abr. 2000.

\_\_\_\_\_. **Modelagem computacional utilizando STELLA: considerações teóricas e aplicações em Gerenciamento, Física, e Ecologia de Sistemas**. Rio Grande: Editora da FURG, 2002.

SANTOS, A. V. dos; SANTOS, S. R. dos; FRAGA, L. M. Sistema de realidade virtual para simulação e visualização de cargas pontuais discretas e seu campo elétrico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 185-195, jun. 2002.

SANTOS, G.; OTERO, M. R.; FANARO, M. de los A. ¿Cómo usar software de simulación en clases de física? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 1, p. 50-66, abr. 2000.

SASTRY, G. P.; RAVURI, T. R. Modeling some two-dimensional relativistic phenomena using an educational interactive graphics software. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n. 11, p. 1066-1073, Nov. 1990.

SAVELSBERGH, E. R.; JONG, T. D.; FERGUSON-HESSLER, M. G. M. Learning Physics with a computer algebra system. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 16, n., p. 229-242, 2000.

SCANLON, E. et al. Remote experiments, re-versioning and re-thinking science learning. **Computers & Education**, Great Britain, v. 43, n. 1/2, p. 153-163, Aug./Sept. 2004.

SCHIEL, D. et al. High school Physics instruction by way of the World Wide Web: a brazilian case study. **Journal of Interactive Learning Research**, London, v. 13, n. 4, p. 293-309, 2002.

\_\_\_\_\_. Mecânica gráfica, um exemplo de ensino de física na WWW. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 407-412, dez. 1998.

SILVA, W. P. et al. Apresentação do software educacional "Vest21 mecânica". **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 221-231, jun. 2002.

SILVA, W. P. D. et al. Um software para experimentos sobre batimentos de ondas sonoras. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 1, p. 103-110, abr. 2004.

SMITH, R. C. Teaching physics on line. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 63, n. 12, p. 1090-1096, Dec. 1995.

SOKOLOFF, D. R.; THORNTON, R. K. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. **The Physics Teacher**, College Park, v. 35, n. 6, p. 340-347, Sep. 1997.

SOUSA, D. F. D. et al. Aquisição de dados e aplicações simples usando a porta paralela do micro PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 413-421, dez. 1998.

STEINBERG, R. N. Computers in teaching science: to simulate or not to simulate? **Physics Education Research: a supplement to the American Journal of Physics**, Melville, v. 68, n. 7, p. S37-S41, July 2000.

STEINBERG, R. N.; OBEREN, G. E.; McDERMOTT, L. C. Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 64, n. 11, p. 1370-1379, Nov. 1996.

STURMAN, A. Case study methods. In: KEEVES, J. P. **Educational research, methodology, and measurement: an international handbook**. Oxford: Pergamon Press, 1988. p. 61-66.

TAO, P.-K.; GUNSTONE, R. F. The process of conceptual change in force and motion during computer-supported physics instruction. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 36, n. 7, p. 859-882, Sept. 1999.

TEODORO, V. D. From formulae to conceptual experiments: interactive modelling in the Physical Sciences and in Mathematics. In: International CoLos Conference New Network-Based Media in Education, Maribor, Slovenia, 1998. Disponível em: <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/papers/Paper%20VDT%20Slovenia%20September%201998.PDF>. Acesso em: 10 de junho 2004.

TERINI, R. A. et al. Utilização de métodos computacionais no ensino: a experiência de Geiger e Marsden do espalhamento de partículas alfa. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 11, n. 1, p. 33-42, abr. 1994.

THOENNESSEN, M.; HARRISON, M. J. Computer-assisted assignments in a large Physics class. **Computers & Education**, Elmsford, v. 27, n. 2, p. 141-147, 1996.

THORNTON, R. K.; SOKOLOFF, D. R. Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. **American Journal of Physics**, Woodbury, v. 58, n. 9, p. 858-867, Sept. 1990.

TIBERGHIE, A.; VRIES, E. D. Relating characteristics of teaching situations to learner activities. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 13, n., p. 163-174, 1997.

TSAI, C. C.; CHOU, C. Diagnosing students' alternative conceptions in Science. **Journal of Computer Assisted Learning**, Oxford, v. 18, n., p. 157-165, 2002.

VEIT, E. A.; MORS, P. M.; TEODORO, V. D. Ilustrando a segunda lei de Newton no século XXI. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 176-184, jun. 2002.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-96, jun. 2002.

VIENNOT, L.; RAINSON, S. Student's reasoning about the superposition of electric fields. **International Journal of Science Education**, London, v. 14, n. 4, p. 475-487, Oct./Dec. 1992.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

\_\_\_\_\_. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

WATKINS, J. et al. Evaluation of a Physics multimedia resource. **Computers & Education**, Great Britain, v. 24, n. 2, p. 83-88, 1995.

WHITELOCK, D. et al. Challenging models of elastic collisions with a computer simulation. **Computers & Education**, Great Britain, v. 20, n. 1, p. 1-9, 1993.

YAMAMOTO, I.; BARBETA, V. B. Simulações de experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 215-225, jun. 2001.

ZACHARIA, Z. Beliefs, attitudes, and intentions of Science teachers regarding the educational use of computer simulations and inquiry-based experiments in Physics. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 40, n. 8, p. 792-823, 2003.

## APÊNDICE A

### AS LEIS DE MAXWELL DO ELETROMAGNETISMO

Há cerca de um século e meio, em 1860, James Clerk Maxwell mostrou que era possível fazer uma descrição completa dos fenômenos eletromagnéticos através de um conjunto de apenas quatro equações. Assim como Newton baseou-se no trabalho prévio de outros para formular as suas famosas leis da Mecânica, em suas próprias palavras: "Se pude ver mais longe que outros, foi porque estava apoiado sobre os ombros de gigantes", Maxwell também fez uso de formulações existentes sobre fenômenos elétricos e magnéticos feitas por outros físicos para escrever as chamadas Leis de Maxwell. De modo particular, cabe citar a longa série de investigações experimentais e teóricas feitas por Michael Faraday.

Maxwell, portanto, não inventou as equações que hoje levam seu nome (na verdade apenas uma dessas equações foi por ele formulada pela primeira vez). A sua importante contribuição foi a de mostrar que essas equações formam a base da interpretação de TODOS os fenômenos eletromagnéticos de campo, incluindo ondas eletromagnéticas.

As quatro equações básicas do campo eletromagnético podem ser expressas de acordo com seu significado físico, da seguinte forma:

- 1) Cargas elétricas são geradoras de campo elétrico. Se a carga for puntiforme, o campo elétrico produzido por ela será dado pela Lei de Coulomb.
- 2) Não existem monopolos magnéticos.
- 3) Um campo magnético pode ser produzido tanto por uma corrente elétrica como por um campo elétrico variável.
- 4) Um campo magnético variável produz um campo elétrico.

Você deve estar se perguntando se a partir destas informações podemos realmente interpretar todos os fenômenos eletromagnéticos. Na verdade a expressão das Leis exclusivamente por meio de seus significados físicos não parece ser de grande utilidade do ponto de vista operacional, i.e., como ferramenta para explicar e interpretar fenômenos eletromagnéticos e para calcular quantidades eletromagnéticas. Será que uma formulação matemática não seria mais adequada para este fim? Era isto que Maxwell procurava; de acordo com suas próprias palavras: "Estou tentando chegar a uma formulação matemática exata para tudo o que se sabe sobre Eletromagnetismo". Em outra oportunidade, falando sobre seu "Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo", Maxwell disse: "É principalmente com a esperança de fazer dessas idéias (de Faraday) a base de um método matemático que eu escrevi este tratado".

Não queremos, no entanto, que você memorize estas quatro leis como sendo um conjunto de leis milagrosas que escondem todos os fenômenos eletromagnéticos e ninguém os entende. O que queremos é que você as compreenda e seja capaz de aplicá-las para explicar fenômenos eletromagnéticos e calcular grandezas eletromagnéticas. Você deverá ser capaz de não só ver o que está "escondido" nas Equações de Maxwell, mas também de operar com elas para resolver problemas físicos.

Vejam na Tabela A1 o enunciado destas leis acompanhadas de sua formalização matemática.

**Tabela A1:** equações de Maxwell do Eletromagnetismo na forma integral.

Nome:	Descreve:	Enunciado:	Equação:
Lei de Gauss da Eletricidade	Carga e campo elétrico	<i>O fluxo do campo elétrico através de uma superfície fechada hipotética (superfície gaussiana) é proporcional à carga contida dentro dela (carga líquida)</i>	$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{liq}$
Lei de Ampère-Maxwell	Campo magnético gerado por um campo elétrico variável e/ou por uma corrente elétrica	<i>A integral do campo magnético sobre um percurso fechado arbitrário (laço amperiano) é proporcional à corrente líquida que atravessa a superfície limitada por este percurso e a variação temporal do fluxo do campo elétrico</i>	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left( i_{liq} + \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$
Lei de Faraday-Lenz	Campo elétrico gerado por um campo magnético variável	<i>A integral do campo elétrico sobre um percurso fechado é igual a menos a variação temporal do fluxo magnético sobre a superfície delimitada por este percurso</i>	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$
Lei de Gauss do Magnetismo	Campo magnético	<i>O fluxo do campo magnético através de uma superfície gaussiana é zero</i>	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$

Estas equações, digamos uma vez mais, descrevem todos os fenômenos eletromagnéticos de campo. Entretanto, para ver isto é preciso "desempacotá-las", i.e., é preciso analisá-las, interpretá-las, manipulá-las e aplicá-las a problemas físicos. Das equações de Maxwell iremos aos detalhes de sua aplicação e deles voltaremos às equações, quando uma visão geral se tornar necessária.

Vamos, então, começar a "desempacotar" as equações e ver o que podemos obter de uma análise semiquantitativa.

## 1 LEI DE GAUSS PARA A ELETRICIDADE

Das equações apresentadas na Tabela A1, nos deteremos agora na primeira, ou seja, na Lei de Gauss para a eletricidade. Recapitulando seu enunciado:

*“O fluxo do campo elétrico através de uma superfície fechada hipotética (superfície gaussiana) é proporcional à carga líquida dentro dela”.*

Ao ler isto pela primeira vez você deve ter se perguntado: o que vem a ser "fluxo de campo elétrico", "superfície gaussiana" e "carga líquida"? De fato a compreensão destes conceitos, e como eles se relacionam, é a chave para o entendimento da Lei de Gauss<sup>24</sup>.

### 1.1 NOÇÃO DE FLUXO

No linguajar da Física a palavra fluxo tem um significado específico: “quanto de uma determinada grandeza passa **através** de uma área em particular”. Por exemplo, podemos analisar o fluxo de luz solar<sup>25</sup> através de uma placa de vidro completamente transparente em sua área maior<sup>26</sup>. Para seguirmos nossa análise é conveniente definirmos o vetor  $\vec{S}$  associado à intensidade e direção da luz solar, o vetor  $\vec{A}$  associado ao tamanho da área da placa e com sentido igual ao vetor normal à superfície ( $\vec{A} \equiv \vec{n}A$ ) e  $\theta$ , como o ângulo entre os vetores  $\vec{S}$  e  $\vec{A}$ .

Observe que na situação mostrada na Fig.1(a) o vetor área  $\vec{A}$  (de módulo igual à área, normal à placa com sentido do lado 2 para o lado 1<sup>27</sup>) é antiparalelo ( $\theta = 180^\circ$ ) ao feixe de luz incidente, proporcionando uma máxima amplitude de fluxo, enquanto na Fig.1(b) o vetor área  $\vec{A}$  é perpendicular ( $\theta = 90^\circ$ ) ao feixe de luz, fazendo com que a luz que atravessa a área útil da placa seja zero. De modo intuitivo, podemos perceber que o fluxo de luz solar ( $\Phi_{Luz\ Solar}$ ) através da placa pode ser modificado de três formas:

- alterando a intensidade da luz ( $|\vec{S}|$ );
- mudando a área da placa ( $|\vec{A}|$ );
- e modificando a orientação ( $\theta$ ) da placa em relação à luz incidente.

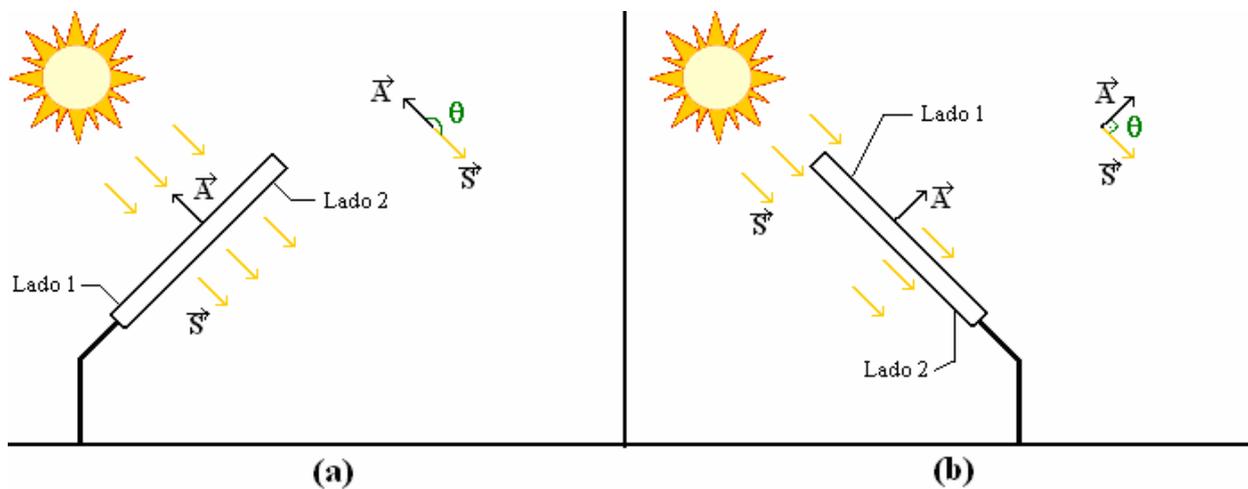
---

<sup>24</sup> Daqui para frente quando falarmos somente em Lei de Gauss, sem outra especificação, estaremos nos referindo à Lei de Gauss para a eletricidade.

<sup>25</sup> Consideraremos aqui que devido à distância entre o Sol e a célula coletora na Terra, os raios solares sobre a mesma são praticamente paralelos.

<sup>26</sup> Estamos desconsiderando o fluxo através das laterais da placa de vidro.

<sup>27</sup> Podemos também, sem perda de generalidade, definir vetor  $\vec{A}$  apontando no sentido da placa 1 para 2.



**Fig. A1** – (a) Placa de vidro perpendicular aos raios solares e (b) placa de vidro paralela aos raios solares. Nesta figura definimos o vetor  $\vec{A}$ , que é normal à superfície frontal da placa, como apontado no sentido do lado 2 para o 1.

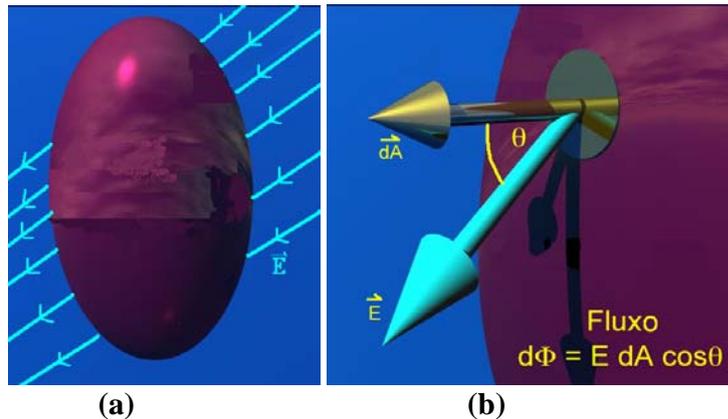
Pode-se verificar que a dependência do fluxo com estas grandezas é dada por:

$$\begin{aligned}\Phi_{Luz\ Solar} &= \vec{S} \cdot \vec{A} \\ &= SA \cos(\theta).\end{aligned}\tag{0.1}$$

Esta equação evidencia a relação entre a intensidade da luz solar, o tamanho da área da placa e o ângulo ( $\theta$ ) entre o feixe de luz e o vetor área  $\vec{A}$ .

## 1.2 SUPERFÍCIE GAUSSIANA E FLUXO DO CAMPO ELÉTRICO

Seguindo nosso estudo sobre a Lei de Gauss, buscaremos agora analisar o fluxo das linhas de força de um campo elétrico não-uniforme através de uma superfície imaginária de formato arbitrário conhecida como superfície gaussiana.



**Fig. A2** – Uma superfície gaussiana imersa em um campo elétrico não-uniforme. (b) Visão ampliada da gaussiana mostrando o vetor campo elétrico  $\vec{E}$  em um elemento diferencial de área  $d\vec{A}$  (perpendicular ao elemento de área da superfície) formando um ângulo  $\theta$  entre si.

Uma superfície gaussiana é sempre uma superfície fechada, de modo que possa ser feita uma distinção clara entre pontos que estão no interior da superfície, sobre a superfície e fora da superfície. Imaginemos que ela esteja dividida em elementos de área infinitesimais  $d\vec{A}$ , cujo módulo é a área  $dA$  como mostra a Fig. A2(b). Cada vetor  $d\vec{A}$  é perpendicular à superfície gaussiana e está voltado para fora da mesma. Como os elementos são infinitesimais, o campo elétrico  $\vec{E}$  pode ser considerado constante em todos os pontos de um determinado elemento de área e forma um ângulo  $\theta$  com  $d\vec{A}$ . O fluxo do campo elétrico através de  $d\vec{A}$  é dado por:

$$d\Phi_E = E dA \cos \theta. \quad (0.2)$$

Se quisermos saber o fluxo através de toda a superfície gaussiana, basta integrar sobre toda a área:

$$\begin{aligned} \Phi_E &= \oint d\Phi_E \\ \Phi_E &= \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint E dA \cos \theta. \end{aligned} \quad (0.3)$$

O círculo sobre o símbolo da integral indica que a integração deve ser feita sobre toda a superfície (fechada). O fluxo do campo elétrico é uma grandeza escalar, e sua unidade no sistema internacional de unidades (SI) é newton vezes metro quadrado por coulomb ( $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$ ).

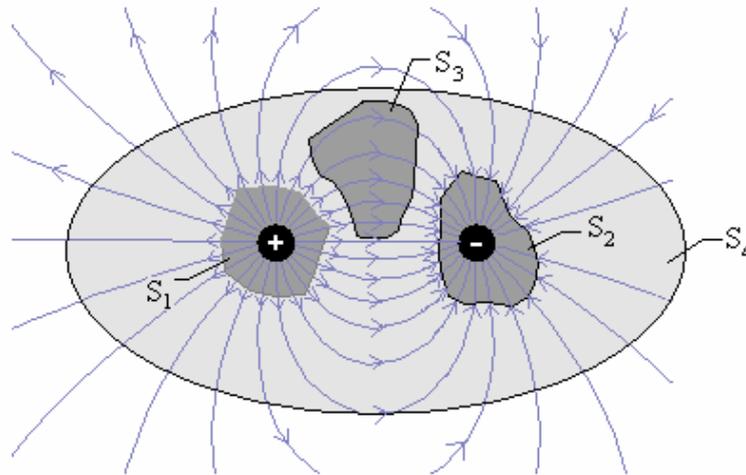
Um ponto importante a ser salientado em nossa discussão sobre fluxo do campo elétrico é que no exemplo da luz solar atravessando uma placa de vidro algo de fato está passando de um lado para outro (a luz), mas no caso do campo eletrostático não temos algo concreto atravessando a superfície gaussiana, as linhas de campo elétrico na verdade, não tem existência física, elas são meras construções humanas para representar o comportamento do campo elétrico em uma região do espaço, de modo pictórico, poderíamos imaginar que as linhas “espetam” a superfície.

A Fig. A3 mostra em corte as linhas de força de duas cargas de mesmo módulo e sinais contrários e algumas superfícies fechadas arbitrárias.

O fluxo é negativo em cada ponto da superfície  $S_2$ , pois as linhas de força apontam para dentro dela enquanto o vetor  $d\vec{A}$  aponta para fora, pois esta é a convenção que usamos:  $d\vec{A}$  sempre aponta para fora da superfície fechada. O fluxo é positivo em  $S_1$ , pois as linhas de força apontam para fora. Em  $S_3$  e  $S_4$ , o fluxo é nulo porque, nestas superfícies, o número de linhas de força que entra é igual ao número de linhas de força que sai.

A partir da discussão dessas idéias, podemos voltar novamente ao enunciado da lei de Gauss:

*“O fluxo do campo elétrico através de uma superfície gaussiana é proporcional à carga líquida dentro dela”.*



**Fig. A3** – Um dipolo elétrico e suas linhas de campo representando o campo resultante gerado pelas cargas.  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  e  $S_4$  são superfícies gaussianas mostradas em corte.

O fluxo do campo elétrico está relacionado com o número de linhas de força que atravessam a superfície. Falta apenas definir o conceito de carga líquida que nada mais é do que a soma algébrica de todas as cargas envolvidas pela superfície. Deste modo, podemos expressar matematicamente a Lei de Gauss como:

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{liq}}{\epsilon_0}, \quad (0.4)$$

onde o círculo no meio de integral de área (sobre a superfície  $S$ ) indica que ela é fechada, e  $\epsilon_0$  é uma constante de proporcionalidade conhecida por coeficiente de permissividade elétrica no vácuo, igual a  $8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N.m}^2$ .

Da equação 1.4, podemos observar que o sinal do fluxo do campo elétrico estará diretamente associado ao sinal da carga. Para uma carga positiva, teremos um fluxo elétrico positivo (fluxo resultante para fora), o que significa dizer que uma carga positiva “cria” linhas de campo. Para uma carga negativa por sua vez, o fluxo elétrico também será negativo (fluxo resultante para dentro), o que podemos interpretar como um “sorvedouro” de linhas de campo. Outro ponto importantíssimo a ser observado é que o  $\vec{E}$  na equação 1.4 representa o campo elétrico resultante devido a **TODAS as cargas existentes no sistema**, e não somente aquele criado pelas cargas contidas na gaussiana.

### 1.3 A LEI DE GAUSS E A LEI DE COULOMB

Uma lei física corresponde a um certo modo de descrever a natureza, não sendo a Lei de Gauss e a Lei de Coulomb exceções. A Lei de Coulomb tem como base o princípio de *ação à distância* entre cargas pontuais em repouso (ou quase), não existindo um elemento mediador da força eletrostática entre elas; no entanto esta ação não é instantânea. Ao movermos uma das cargas a informação sobre este movimento se propaga em todas as direções, como uma onda eletromagnética à velocidade da luz no vácuo. A Lei de Gauss assume que as cargas geram campos elétricos no espaço à sua volta, ou seja:



Assim, podemos associar um vetor campo elétrico em um ponto  $P$  no espaço próximo a uma carga  $q_1$ . Quando colocamos uma carga  $q_2$  em  $P$ ,  $q_1$  interage com  $q_2$  por meio do campo elétrico em  $P$ .

Podemos nos perguntar: afinal campos elétricos existem ou não? Esta não é uma questão simples de responder. Para a Física, apenas grandezas que podem ser medidas de fato, correspondem a grandezas reais. Ao tentarmos obter o campo elétrico em um ponto, o que na verdade fazemos é colocar uma carga de prova e medir a força que atua sobre ela e, a partir desta força, calculamos o campo elétrico através da definição:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1.5)$$

Se estivermos interessados em saber a intensidade do campo elétrico em um ponto  $P$  a uma distância  $r$  de uma carga  $q$ , podemos aproximar uma carga de prova  $q_0$  e usar a Lei de Coulomb para determiná-lo:

$$|F| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q||q_0|}{r^2}$$

$$|E| = \frac{|F|}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2}. \quad (1.6)$$

Este resultado nos diz que o campo elétrico gerado por uma carga  $q$  em um ponto  $P$  a uma distância  $r$ , é proporcional à magnitude desta carga e inversamente proporcional à distância (do ponto em relação à carga) ao quadrado.

Mas em relação à Lei de Gauss, ao aplicá-la, também obtemos este resultado? A Fig. A4 mostra uma carga pontual positiva  $q$ , ao redor da qual desenhamos uma superfície gaussiana esférica concêntrica. Este formato para a superfície foi escolhido devido à simetria radial existente no problema. Podemos observar que através desta escolha, o ângulo  $\theta$  entre  $\vec{E}$  e  $d\vec{A}$  será constante e igual a zero para toda a superfície; e a intensidade do campo elétrico sobre qualquer ponto da gaussiana será a mesma, pois todos os pontos sobre ela estão a uma mesma distância (raio da gaussiana) da carga. Da equação 1.4 temos que:

$$\epsilon_0 \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \epsilon_0 \oint_S E \cdot dA \cos(0) = q_{liq}; \quad q_{liq} = q.$$

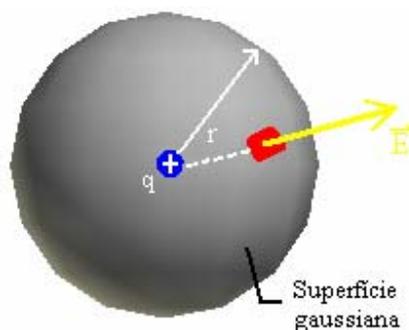
Como  $E$  é constante sobre a gaussiana, podemos tirá-lo para fora da integral. Assim,

$$\epsilon_0 E \oint_S dA = q.$$

A integral de todos os elementos de área infinitesimais será igual à área de uma esfera de raio  $r$  ( $A_{esfera} = 4\pi r^2$ ), temos então,

$$\epsilon_0 E (4\pi r^2) = q$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}.$$



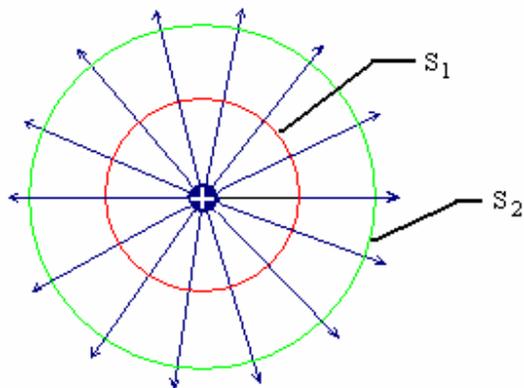
**Fig. A4** – Uma superfície gaussiana de formato esférico, centrada em uma carga pontual  $q$ .

Conforme mencionado anteriormente, uma superfície gaussiana é uma superfície fechada imaginária que pode assumir QUALQUER formato que desejarmos, porém nem todos os formatos escolhidos serão úteis. Devemos sempre escolher formas que aproveitem a simetria das linhas de campo elétrico do problema, pois apesar da Lei de Gauss sempre ser válida, ela somente facilitará os cálculos quando o módulo do campo elétrico e o ângulo  $\theta$  entre  $\vec{E}$  e  $d\vec{A}$  forem constantes.

#### 1.4 LEI DE GAUSS E SIMETRIA

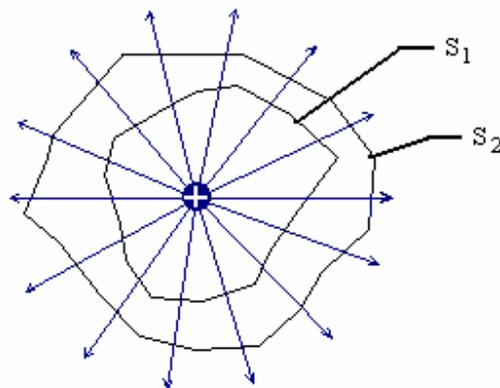
A Lei de Gauss pode ser utilizada: (a) para determinarmos o fluxo do campo elétrico a partir do cálculo da carga líquida envolvida pela gaussiana e (b) para obtermos o campo elétrico a partir do fluxo, o que nem sempre terá solução, pois isto significa calcular  $\vec{E}$  em um dado ponto a partir do conhecimento de uma grandeza relativa à toda superfície, como é o caso do fluxo. A simetria da superfície gaussiana em relação às linhas de campo desempenha um papel vital na obtenção do campo elétrico a partir do fluxo.

Na seção anterior, para obtermos a expressão do campo elétrico gerado por uma carga pontual, adotamos uma superfície gaussiana de formato esférico para facilitar os cálculos. Entretanto, destacamos que o fluxo do campo elétrico através da gaussiana não depende do formato desta, apenas da carga líquida que ela envolve. Observe na Fig. A5, em uma representação em corte, duas gaussianas distintas de formato esférico, envolvendo a mesma carga. Pela Lei de Gauss, o fluxo através das duas superfícies deve ser o mesmo, pois ambas envolvem a mesma carga líquida. Entretanto, sabemos que o campo elétrico sobre a gaussiana varia com o inverso do seu raio ao quadrado, logo, fica a questão: como é possível que  $\Phi_E$  seja o mesmo para  $S_1$  e  $S_2$  se estas esferas têm raios diferentes? Pode-se responder esta pergunta através de argumentos geométricos: conforme aumentamos o raio da esfera, sua área superficial aumenta proporcionalmente ao seu raio ao quadrado ( $A_{esfera} \propto r^2$ ), compensando assim a diminuição do campo elétrico ( $E \propto \frac{1}{r^2}$ ), visto que o fluxo é proporcional ao produto entre  $E$  e  $A$ .



**Fig. A5** – Uma carga pontual positiva envolta por duas gaussianas de formato esférico concêntricas com a carga.

Mesmo em configurações onde as superfícies têm formato arbitrário, como é o caso da Fig. A6, a Lei de Gauss continua válida, e nos diz que o fluxo através de  $S_1$  e  $S_2$  é o mesmo. Como faremos agora para justificar tal afirmação, já que o argumento geométrico que utilizamos anteriormente não é mais válido? Basta observarmos que o número de linhas que atravessam as duas superfícies é o mesmo, logo o fluxo do campo elétrico através de ambas é igual. Se pensarmos bem, esta situação é fisicamente plausível, visto que o espaço vazio não “cria” e nem “sorve” campo elétrico. O fato de uma superfície gaussiana envolver uma região maior do espaço do que a outra, não altera o fluxo de linhas de campo, pois ambas continuam envolvendo a mesma quantidade de carga líquida.



**Fig. A6** – Uma carga pontual positiva envolta por duas gaussianas de formato arbitrário. Passaremos agora a discutir a segunda Lei de Maxwell apresentada na Tabela A1.

## 2 LEI DE AMPÈRE-MAXWELL

Relembrando seu enunciado:

*A integral do campo magnético sobre um percurso fechado arbitrário (laço amperiano) é proporcional à corrente líquida que atravessa a superfície limitada por este percurso e a variação temporal do fluxo do campo elétrico.*

A primeira coisa que podemos observar, comparando com a Lei de Gauss para a eletricidade, é que a integral agora é sobre um percurso fechado arbitrário (laço amperiano) e não sobre uma superfície fechada arbitrária (superfície gaussiana). Além disso, ela envolve cargas em movimento (corrente) e variação temporal (derivada do fluxo do campo elétrico em relação ao tempo). O que esta lei basicamente nos diz é que um campo magnético pode ser produzido por uma corrente elétrica, por um campo elétrico variável ou ainda, por ambos simultaneamente (princípio de superposição!). Originalmente esta lei foi estabelecida por André Marie Ampère (1775-1836) levando em conta apenas a produção de um campo magnético por uma corrente. Maxwell generalizou a Lei de Ampère levando em consideração a produção de campos magnéticos por campos elétricos variáveis. Esse novo termo, chamado *corrente de deslocamento* restaurou a simetria das equações básicas do eletromagnetismo. A Lei de Faraday-Lenz, que veremos posteriormente, diz que um campo magnético variável produz um campo elétrico e agora, através da corrente de deslocamento proposta por Maxwell, a Lei de Ampère-Maxwell diz que um campo elétrico variável produz um campo magnético. Entretanto, na época em que Maxwell propôs esse novo termo, com os dispositivos experimentais existentes era praticamente impossível detectar o efeito devido a campos elétricos variáveis. O efeito de correntes elétricas na produção de campos magnéticos obscurecia completamente qualquer efeito devido a campos elétricos variáveis. Passaram-se 20 anos até que, não antes da morte de Maxwell, a primeira confirmação direta desta teoria fosse obtida por Heinrich Hertz.

O conceito de corrente de deslocamento nos permite manter a noção de que a corrente elétrica é contínua (a qual foi admitida implicitamente quando o conceito de corrente foi usado pela primeira vez). Em circuitos de corrente alternada (nos quais o sentido do campo aplicado varia com uma certa frequência), sempre que termina uma corrente de condução (fluxo de portadores de cargas) começa uma de deslocamento, de igual intensidade, mantendo assim a continuidade da corrente. Talvez você esteja achando que o conceito de corrente de deslocamento é um tanto abstrato e difícil de captar. Concordamos com você, é um conceito bastante abstrato, mas aos poucos ele adquirirá maior significação para você. Por enquanto, o importante é notar que, para fins práticos, a corrente de deslocamento é equivalente a uma corrente comum de condução. Embora ela se constitua numa variação temporal do fluxo elétrico e não num movimento real dos portadores de carga, ela também cria um campo magnético, como se fosse uma corrente de condução.

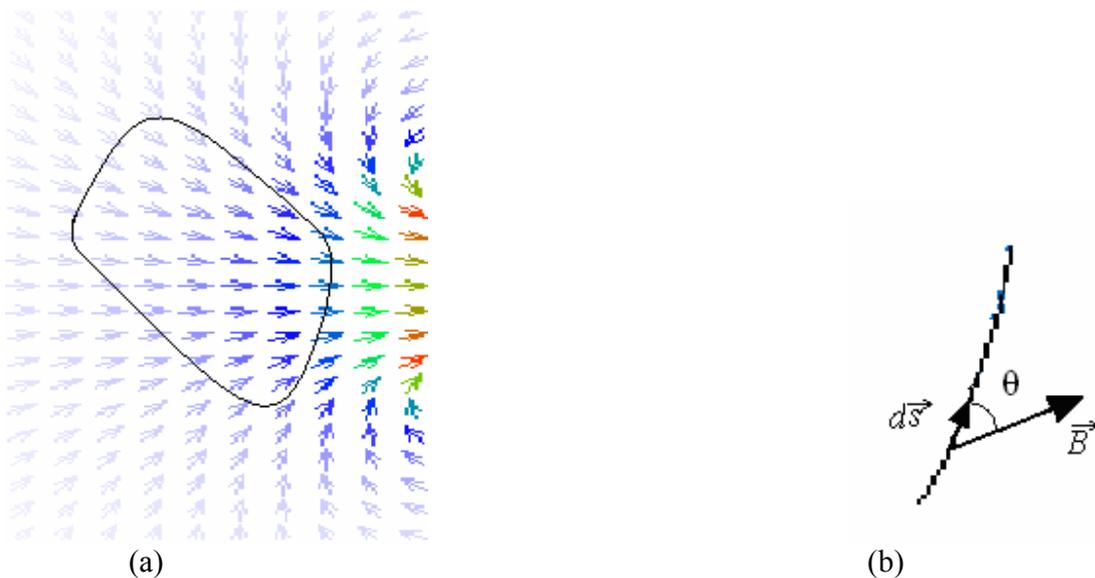
## 2.1 LAÇO AMPERIANO E CAMPO MAGNÉTICO

Seguindo nosso estudo sobre a Lei de Ampère, buscaremos agora analisar as linhas de força de um campo magnético não-uniforme sobre um percurso imaginário de formato arbitrário conhecido como laço amperiano. Veja Fig. A7.

Um laço amperiano é sempre uma curva fechada. Imaginemos que este laço esteja dividido em elementos de comprimento infinitesimais  $d\vec{s}$ , cujo módulo é um. Cada vetor  $d\vec{s}$  é tangente ao laço amperiano e aponta no sentido de integração, escolhido arbitrariamente. Como os elementos são infinitesimais, o campo magnético  $\vec{B}$  pode ser considerado constante em todos os pontos de um determinado elemento de comprimento e forma um ângulo  $\theta$  com  $d\vec{s}$ . O produto escalar  $\vec{B} \cdot d\vec{s}$  é o produto de um elemento diferencial de comprimento  $ds$  do laço amperiano pela componente do campo  $B \cos \theta$  na direção de  $d\vec{s}$ . A integral pode ser vista como o somatório destes produtos ao longo do laço amperiano (fechado). O círculo no meio de integral de linha indica que o percurso é fechado.

Como visto na Tabela A1, podemos expressar matematicamente a Lei de Ampère-Maxwell como:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \left( i_{liq} + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right) \quad (\text{Lei de Ampère-Maxwell})$$



Nesta equação, a integral  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$  (também conhecida com circulação de  $\vec{B}$ ) é uma integral de linha sobre um *percurso fechado qualquer*;  $i_{liq}$  é a *corrente líquida* que atravessa a área delimitada pelo percurso de integração;  $\vec{B}$  é o campo magnético,  $d\vec{s}$  é um vetor sempre tangente ao percurso de integração e no sentido deste,  $ds$  é um comprimento elementar sobre o percurso de integração;  $\mu_0$  é chamada de constante de permeabilidade magnética no vácuo ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$ ).

Na seção anterior vimos que apesar da Lei de Gauss ser sempre válida, de um ponto de vista prático, a utilidade da mesma restringe-se a situações com uma simetria tal que a integral (integral) pudesse ser facilmente resolvível. Pois bem, o mesmo acontece com a Lei de Ampère-Maxwell quando aplicada ao cálculo de campos magnéticos: ela continua sendo válida para todos os casos, mas sua utilidade restringe-se aos casos onde a simetria das linhas do campo magnético permite o cálculo da integral de linha  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ .

## 2.1 LEI DE AMPÈRE

A grosso modo, podemos dizer que a Lei de Ampère é um caso particular da Lei de Ampère-Maxwell, onde não existem variações de fluxo elétrico envolvidas no problema. Em outras palavras, estamos considerando a produção de um campo magnético apenas devido a correntes elétricas de condução, reduzindo a equação de Ampère-Maxwell à:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{liq} \quad (\text{Lei de Ampère}).$$

O que esta equação nos diz é que num campo magnético estático a integral de  $\vec{B}$  sobre qualquer percurso fechado é proporcional à corrente líquida ( $i_{liq}$ ) que atravessa a superfície delimitada por esse percurso. Essa integral depende, portanto, somente das correntes internas ao percurso. Mas cuidado! O campo magnético que aparece no lado esquerdo da equação é o campo devido a **TODAS** as correntes existentes no sistema, e não somente às correntes elétricas contidas dentro do laço amperiano. Com a Lei de Ampère pode-se calcular campos magnéticos produzidos por correntes constantes (a Lei de Ampère-Maxwell é válida sempre, mas a Lei de Ampère é válida apenas para correntes constantes!), desde que as condições de simetria do problema permitam que  $B$  seja constante sobre o laço amperiano e, em consequência, possa ser colocado fora da integral. (Caso isso não seja possível, a Lei de Ampère continua válida, entretanto devemos utilizar a Lei de Biot-Savart para resolver o problema.)

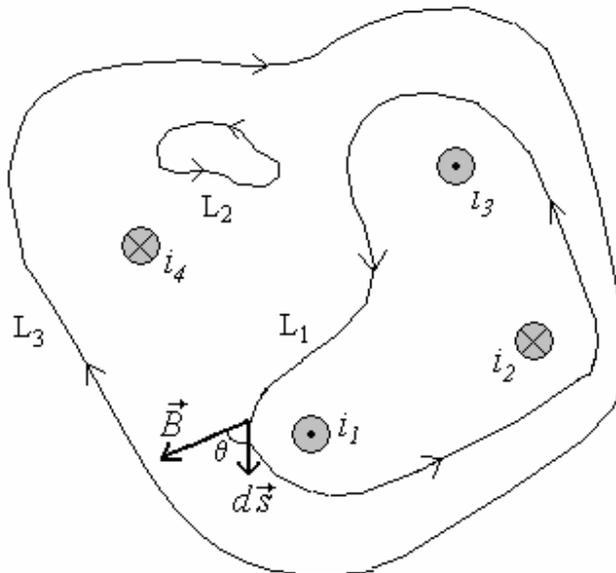
Para melhor compreendermos o conceito de corrente líquida na Lei de Ampère, imaginemos quatro fios retos longos que transportam correntes  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  e  $i_4$ , perpendicularmente ao plano da página, entrando ou saindo dela, como mostra a Fig. A8. Como os fios são perpendiculares à página, o campo magnético devido a cada uma das correntes está no plano da página e, por consequência, o campo magnético resultante em cada ponto, dado pela soma vetorial dos campos individuais, também se encontra neste plano.  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  são três laços amperianos arbitrários, para os quais escolhemos arbitrariamente os sentidos de integração. Para

aplicarmos a Lei de Ampère, precisamos calcular a integral de linha do produto escalar  $\vec{B} \cdot d\vec{s}$  sobre um laço amperiano, onde  $\vec{B}$  é o **campo magnético resultante das todas as correntes existentes** (quatro). Consideremos o laço  $L_1$ . A Fig. A8 mostra um elemento diferencial  $d\vec{s}$  do laço  $L_1$ , assim como o campo magnético  $\vec{B}$ , **devido às quatro correntes**.

Podemos escrever então:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint B \cos \theta ds = \mu_0 i_{liq}. \quad (2.1)$$

Neste exemplo consideramos que o sentido  $\vec{B}$  é conhecido, conforme apresentado na Fig. A8. No entanto, mesmo que não se conheça previamente o sentido de  $\vec{B}$ , é possível usar-se a Lei de Ampère, arbitrando um sentido para  $\vec{B}$  e ao final verificando se o resultado é coerente. Por exemplo, supondo que esteja de modo geral no mesmo sentido escolhido para percorrer o caminho de integração. Então usamos uma regra (da mão direita reta-curva<sup>28</sup>) para atribuir um sinal positivo ou um sinal negativo para cada uma das correntes que constituem a corrente resultante  $i_{liq}$ , envolta pelo laço. Resolvermos, então, a eq. 2.1 para a intensidade de  $\vec{B}$ . Se  $B$  resultar em um valor positivo, o sentido suposto para  $\vec{B}$  está correto. Em caso contrário, redesenhamos  $\vec{B}$  no sentido contrário. Obviamente um novo cálculo do  $\vec{B}$  resultante produziria o mesmo valor, exceto que desta feita com o sinal positivo.



**Fig. A8** – Vista em corte de quatro fios retos longos transportando correntes elétricas, de mesma intensidade, perpendicularmente ao plano da página, entrando ou saindo dela.

<sup>28</sup> Com a mão direita curva ao redor do laço amperiano, os quatro dedos apontam no sentido escolhido para a integração e o polegar aponta no sentido que é considerado positivo para corrente. Corrente que aponte no sentido contrário ao do polegar, é considerada negativa.

Por exemplo, com o sentido de integração anti-horário, escolhido para  $L_1$ , a corrente líquida envolta pelo laço é:

$$i_{liq} = i_1 - i_2 + i_3 \quad (\text{corrente líquida envolvida por } L_1).$$

Caso  $i_1 = i_2 = i_3 = i$ , a corrente líquida será igual a  $i$  ( $i_{liq} = i$ ). Note que a corrente  $i_4$  não está inclusa no laço amperiano  $L_1$  (entretanto contribui para o campo resultante  $\vec{B}$  em  $d\vec{s}$ ). Logo podemos escrever para o laço amperiano  $L_1$  como:

$$\oint B \cos \theta ds = \mu_0(i_1 - i_2 + i_3).$$

O cálculo desta integral (lado esquerdo a equação) só é passível de solução quando se conhece o campo magnético ao longo do percurso. (Este não é o caso em nosso exemplo da Figura 8.) O resultado da integração, entretanto, pode ser obtido a partir do lado direito desta expressão  $\mu_0(i_1 - i_2 + i_3)$ , que depende somente das correntes que atravessam a área delimitada pelo laço amperiano.

De modo análogo podemos calcular o resultado da integral à esquerda da eq. 2.1 para o laço amperiano  $L_2$  e  $L_3$ . Para  $L_3$ ,  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint B \cos \theta ds = \mu_0 i_{liq} \therefore \oint B \cos \theta ds = \mu_0(-i_1 + i_2 - i_3 + i_4)$ . Caso as intensidades das quatro correntes sejam iguais, temos que  $\oint B \cos \theta ds = 0$ . Para o laço amperiano  $L_2$  podemos observar que não existe corrente líquida envolvida. Logo  $\oint B \cos \theta ds = 0$ , como em  $L_3$ . **Salientamos que isso não significa que o campo magnético seja zero em cada ponto sobre  $L_2$  e  $L_3$ , mas sim que o resultado da integral de linha para estes percursos é zero, ou seja, a circulação de  $\vec{B}$  é igual a zero.**

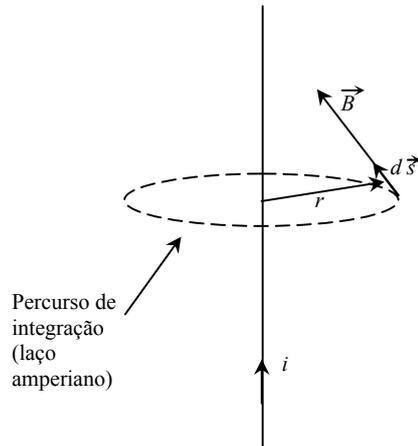
## 2.2 APLICAÇÕES DA LEI DE AMPÈRE

Vejamos agora um exemplo de aplicação da Lei de Ampère. Suponhamos um fio retilíneo muito longo conduzindo uma corrente  $i$  (Fig. A9). Pode-se verificar experimentalmente (usando uma agulha magnética) que o campo magnético em um ponto P, a uma distância  $r$  próxima ao fio, e em sua região central, é tangente a uma circunferência centrada no fio e que passa por este ponto. (Esta circunferência se situa em um plano perpendicular ao fio.) Tomemos a circunferência de raio  $r$ , situada em um plano perpendicular ao fio, como o nosso laço amperiano (percurso de integração), de tal modo que o sentido de  $d\vec{s}$  seja o mesmo de  $\vec{B}$ . O ângulo entre  $\vec{B}$  e  $d\vec{s}$  é, então, zero. Logo:

$$\vec{B} \cdot d\vec{s} = B ds \cos 0 = B ds.$$

Então:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{liq} \quad \therefore \quad \oint B ds \cos 0^\circ = \mu_0 i_{liq}.$$



**Fig. A9** – Fio reto longo conduzindo corrente.

A simetria do problema nos permite dizer que  $B$  tem o mesmo valor em todos os pontos da circunferência de raio  $r$  (percurso de integração) e pode ser colocado fora da integral:

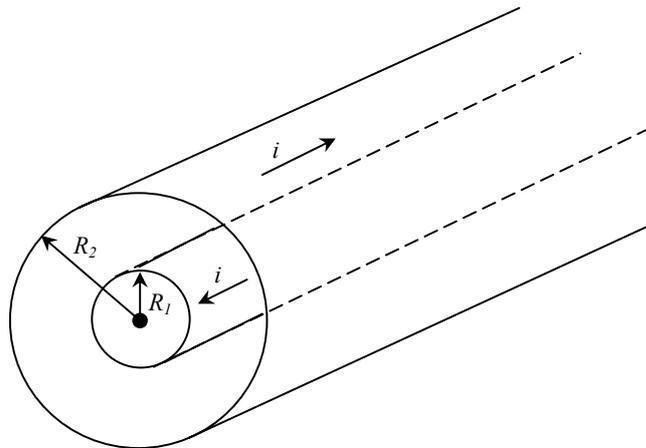
$$B \oint ds = \mu_0 i_{liq} ,$$

onde a integral é simplesmente o perímetro da circunferência ( $2\pi r$ ):

$$B 2\pi r = \mu_0 i \quad \therefore \quad B_A = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

Esta equação, obtida de uma das Equações de Maxwell, nos permite calcular a intensidade do campo magnético de um longo fio retilíneo, conduzindo uma corrente  $i$ , a uma distância  $r$  do centro do fio. Note que, novamente, argumentos de simetria foram vitais na dedução feita.

Resolveremos agora um problema com o máximo detalhamento, a fim de dar-lhe o máximo de “dicas” acerca da utilização prática da Lei de Ampère. A Fig. A10 mostra um longo cabo coaxial formado por um condutor cilíndrico de raio  $R_1$  envolvido por uma casca cilíndrica condutora de raio  $R_2$ . O condutor carrega uma corrente  $i$  uniformemente distribuída sobre sua seção reta. A casca cilíndrica conduz uma corrente de mesma intensidade, mas de sentido oposto. Calculemos  $B(r)$ , sendo  $r$  uma distância genérica medida radialmente a partir do eixo do condutor cilíndrico. Vejamos primeiramente o caso  $r < R_1$ :



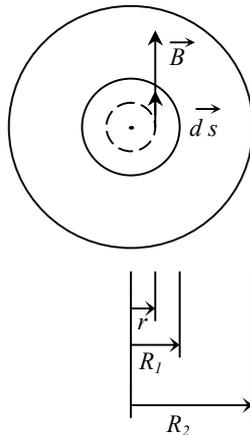
**Fig. A10** – Um longo cabo coaxial formado por um condutor cilíndrico de raio  $R_1$  envolto por uma casca cilíndrica condutora de raio  $R_2$ .

- 1) A partir da simetria do problema e da regra da mão direita, conclui-se que a direção de  $\vec{B}$  é tangente a círculos concêntricos em torno do eixo e o sentido desses círculos é anti-horário.
- 2) Escolhamos agora um percurso fechado conveniente à aplicação da Lei de Ampère. Nesse caso, uma circunferência de raio  $r < R_1$  é, sem dúvida, um percurso conveniente (Fig. A11).
- 3) A partir da simetria do problema, conclui-se que  $\vec{B}$  é tangente ao percurso de integração formando um ângulo de  $0^\circ$  com  $d\vec{s}$  ( $d\vec{s}$  é também tangente à circunferência e aponta no sentido de  $\vec{B}$ ). Além disto, também a partir da simetria do problema, o módulo de  $\vec{B}$ , ainda desconhecido, é constante sobre todo o percurso de integração. Pode-se, então, aplicar a Lei de Ampère e explicitar o produto escalar da integral  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$  :

$$4) \quad \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{liq} \quad \therefore \quad \oint B ds \cos 0^\circ = \mu_0 i_{liq} \quad \therefore \quad \oint B ds = \mu_0 i_{liq}.$$

Como  $B$  é constante sobre o percurso, ele pode ser colocado fora do símbolo de integral:  $B \oint ds = \mu_0 i_{liq}$ , mas  $\oint ds$  é a integral de um elemento de circunferência sobre **toda a circunferência** (integral fechada). Ora, isso é simplesmente o perímetro da circunferência ( $2\pi r$ ). Logo:

$$B 2\pi r = \mu_0 i_{liq}.$$



**Fig. A11** – O laço amperiano (círculo tracejado) só envolve parte da corrente que passa no condutor interno.  $\vec{B}$  e  $d\vec{s}$  estão alinhados ao longo de todo o percurso de integração.

- 5) O próximo passo é calcular a  $i_{liq}$  que atravessa a superfície delimitada pelo percurso de integração, neste exemplo, o disco delimitado pelo círculo de raio  $r$ . A corrente líquida é uma fração da corrente conduzida pelo condutor, pois o percurso de integração tem um raio  $r$  qualquer, menor do que  $R_1$ , i.e., a corrente que atravessa a superfície delimitada pelo percurso de integração é apenas parte da corrente conduzida pelo condutor de raio  $R_1$ . (Nessa etapa do cálculo é comum cometer-se o erro de considerar toda a corrente  $i$ ).

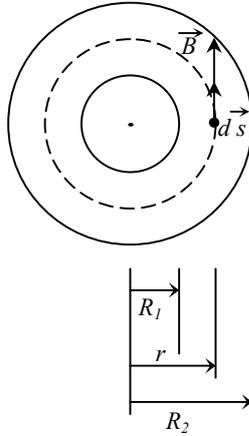
Como a corrente está uniformemente distribuída na seção reta do condutor pode-se nele definir uma densidade de corrente  $J_1 = \frac{i}{A} = \frac{i}{\pi R_1^2}$ .  $J_1$  representa, então, a corrente por unidade de área através da seção reta do condutor. Então, se quisermos saber qual a corrente numa certa área dessa seção reta, basta multiplicar  $J_1$  por esta área. ( $J_1$  faz aqui o papel da densidade de cargas no cálculo de campos elétricos.) No presente caso queremos saber qual a corrente que atravessa a área  $\pi r^2$  (área delimitada pelo percurso de integração);

$$i_{liq} = J_1 \pi r^2 = \frac{i}{\pi R_1^2} \cdot \pi r^2 = i \frac{r^2}{R_1^2}.$$

Observe que se  $r = R_1$ ; a corrente líquida é igual a corrente conduzida pelo fio ( $i_{liq} = i$ ), como era de se esperar. Feito o cálculo da corrente, podemos escrever:

$$B 2\pi r = \mu_0 i \frac{r^2}{R_1^2} \quad \therefore \quad B = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \frac{r}{R_1^2} \quad (2.2)$$

Esta expressão nos dá  $B(r)$  para  $r < R_1$ . Para  $R_1 < r < R_2$  (Fig. A12) as considerações iniciais acerca de  $\vec{B}$  e do percurso de integração são as mesmas, exceto que o percurso de integração deverá ter um raio genérico  $r$  entre  $R_1$  e  $R_2$ :



**Fig. A12** - O laço amperiano (círculo tracejado) envolve toda a corrente do condutor interno e mais uma parte da corrente que passa pela casca cilíndrica.  $\vec{B}$  e  $d\vec{s}$  estão alinhados ao longo de todo o percurso de integração.

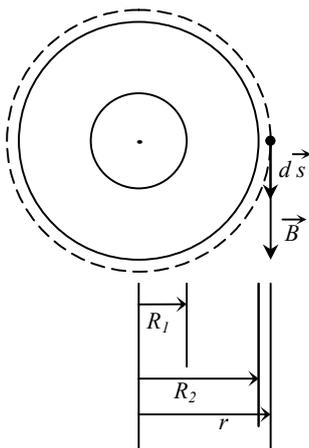
$$\begin{aligned} \oint \vec{B} \cdot d\vec{s} &= \mu_0 i_{liq} \\ \oint B ds \cos 0^\circ &= \mu_0 i_{liq} \quad \therefore \quad \oint B ds = \mu_0 i_{liq} \\ B \oint ds &= \mu_0 i_{liq} \quad \therefore \quad B 2\pi r = \mu_0 i_{liq} \end{aligned}$$

Nesse caso, porém,  $i_{liq}$  é a soma da corrente que percorre o condutor interno mais uma fração da corrente que passa pela casca cilíndrica, pois a área delimitada pelo percurso de integração é menor do que a área da seção reta casca cilíndrica. Então:

$$\begin{aligned} i_{liq} &= i - i' \\ J_2 &= \frac{i}{\pi R_2^2} = \frac{i'}{\pi(r^2 - R_1^2)} \\ B &= \frac{\mu_0 i_{liq}}{2\pi r} = \frac{\mu_0}{2\pi r} \frac{(r^2 - R_1^2)}{R_2^2} i \\ B &= \frac{\mu_0 i}{2\pi R_2^2} r - \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \frac{R_1^2}{R_2^2} \end{aligned}$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R_2^2} r - \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \frac{R_1^2}{R_2^2} \quad (2.3) \text{ é a expressão de } B(r) \text{ para } R_1 < r < R_2.$$

Finalmente, examinemos o caso  $r > R_2$ : As suposições acerca da direção e sentido de  $\vec{B}$  são as mesmas. É claro que o fato de que as correntes são iguais e opostas já nos leva a pensar que nessa região o campo será nulo. Porém, como não temos certeza disto, suponhamos que  $B$  é diferente de zero e que sua direção é tangente a círculos concêntricos tal como nos casos anteriores. Quanto ao sentido, suponhamos que seja o do campo da casca, pois esta está mais próxima do ponto considerado.



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{liq} \quad \therefore \quad \oint B ds \cos 0^\circ = \mu_0 i_{liq}$$

$$\oint B ds = \mu_0 i_{liq} \quad \therefore \quad B 2\pi r = \mu_0 i_{liq}$$

**Fig. A13** - O laço amperiano (círculo tracejado) envolve a corrente do condutor interno e externo.  $\vec{B}$  e  $d\vec{s}$  estão alinhados ao longo de todo o percurso de integração.

Nesse caso o percurso de integração encerra as duas correntes que são iguais e opostas (Fig. A13). Logo,  $i_{liq}$  será nula:  $B 2\pi r = 0$  de onde vem que  $B = 0$ , pois  $r$  é um raio genérico e  $2\pi$  uma constante. Portanto, é nulo o campo magnético na região  $r > R_2$ .

Ressaltamos mais uma vez que as Equações de Maxwell são **gerais**, mas a “chave do sucesso” para aplicá-las em situações práticas reside na **escolha de superfícies e percursos de integração adequados**. Esferas e círculos são de grande utilidade, mas em alguns casos usa-se cilindros, retângulos, cubos e outros. **Depende da simetria das linhas de campo existentes no problema**. Se usarmos superfícies e percursos de integração irregulares, as leis **continuam válidas**, mas  $E$  e  $B$  **não podem** ser fatorados (retirados de dentro da integral) porque não são constantes em todos os pontos da superfície ou do percurso de integração e a integral, a princípio, não será facilmente resolvível.

## APÊNDICE B

### Lei de Gauss – Guia de atividades

#### Fluxo e superfícies gaussianas

**AESG1)** O gráfico de barras mostra o fluxo,  $\Phi$ , através de quatro superfícies gaussianas: verde, vermelha, laranja e azul (a posição é dada em metros, a intensidade do campo elétrico em newton/coulomb, e o fluxo é dado em  $N.m^2/C$ ). Note que esta animação mostra somente duas dimensões de um mundo tridimensional. Você precisará imaginar que os círculos que você vê são esferas e que os quadrados são na verdade cubos.

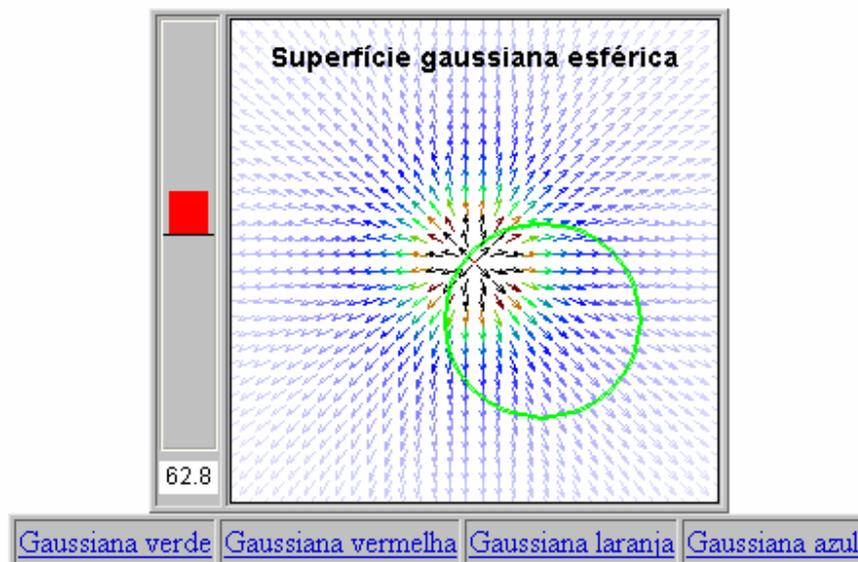


Fig. B1 – Tela ilustrativa da AESG1.

- Comece movendo a superfície gaussiana verde. Qual é o fluxo quando a carga pontual está no interior da região limitada pela superfície?
- Qual é o fluxo quando a carga pontual não está dentro da região limitada pela superfície?
- E sobre a superfície vermelha?
- Como o fluxo é a intensidade do campo elétrico vezes a área da superfície, por que o tamanho da superfície não importa?
- Quando a carga não estiver dentro da superfície gaussiana o que acontece com o fluxo do campo elétrico? Por quê?
- O formato da superfície gaussiana altera o valor do fluxo?

- g) Mova a superfície gaussiana para um ponto onde o fluxo seja zero. O campo elétrico também é zero? Se o campo elétrico não é zero, porque o fluxo é zero?
- h) O que acontece quando a superfície azul circunda apenas uma carga? O que acontece quando ela envolve ambas as cargas?

### Fluxo e Lei de Gauss

**AESG2)** Nesta atividade calcularemos o fluxo,  $\Phi$ , através de três superfícies gaussianas: verde, vermelha e azul (a posição é dada em metros, a intensidade do campo elétrico em newton/coulomb). Note que esta animação mostra somente duas dimensões de um mundo tridimensional. Você precisará imaginar que os círculos que você vê são esferas.

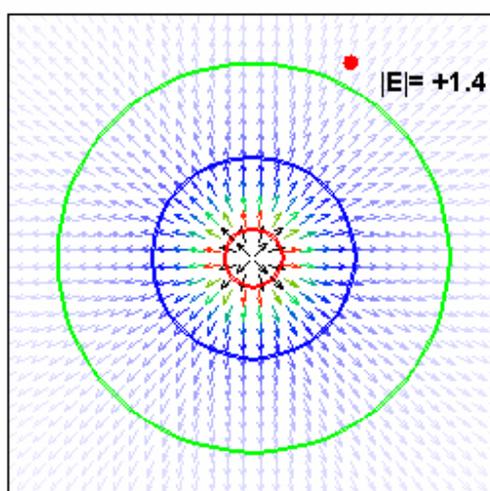


Fig. B2 – Tela ilustrativa da AESG2.

- a) Mova a carga de teste ao longo de uma das superfícies gaussianas. Qual é a magnitude do campo elétrico sobre a superfície? Em qual direção ele aponta? Qual a direção é normal à superfície gaussiana?
- b) No caso de uma carga pontual no item anterior, qual é o ângulo entre o campo elétrico e o vetor normal à superfície?
- c) Calcule o fluxo para a superfície que você escolheu (lembre que a área da esfera é  $4\pi R^2$ ).
- d) Calcule o fluxo para as outras duas superfícies.
- e) Se a área da esfera aumenta com  $r^2$ , como é possível que o fluxo permaneça o mesmo para os três casos?

f) Qual é a magnitude e o sinal da carga pontual?

### Simetria e aplicações da Lei de Gauss

**AESG3)** A lei de Gauss é sempre verdadeira, mas nem sempre é útil para encontrar o campo elétrico desejado em um problema. Isto não deve surpreender, por que para encontrar  $\vec{E}$ , usando uma equação como  $\oint_{\text{Superf.}} \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{\text{liq}}}{\epsilon_0}$ ;  $\vec{E}$  tem que ser capaz de sair da integral, e para que isso aconteça,  $E$  precisa ser constante sobre a superfície. É aí que entra a simetria do problema. A Lei de Gauss só é útil para calcular campos elétricos quando a simetria é tal que você possa construir uma superfície gaussiana em que o campo elétrico seja constante sobre ela, e o ângulo entre  $\vec{E}$  e o vetor normal à gaussiana  $\vec{A}$  também não varie sobre esta superfície. Na prática isso significa que você deve escolher uma superfície gaussiana com a mesma simetria da distribuição de cargas.

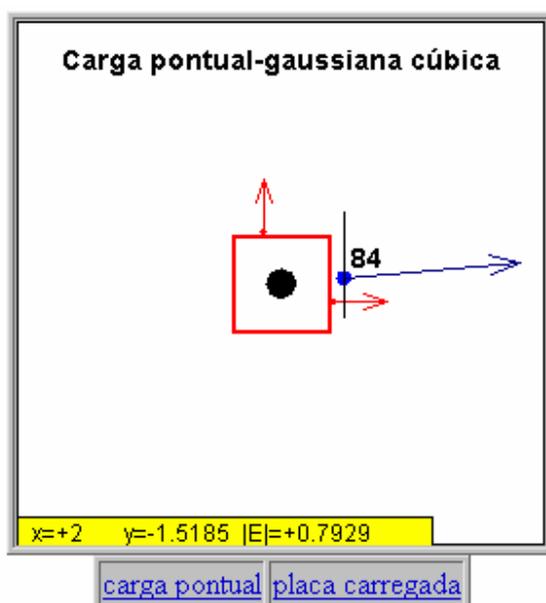


Fig. B3 – Tela ilustrativa da AESG3.

- Considere uma esfera em torno de uma carga pontual (clique no link). A carga de teste azul mostra a direção de  $\vec{E}$ . Há também um vetor apontando na direção da normal à superfície esférica. Movendo o vetor normal sobre a esfera e pondo a carga de teste em três pontos diferentes na superfície, encontre o valor de  $E \cdot dA = E \cdot dA \cdot \cos(\theta)$  (assuma  $dA = 1$ ) neste três pontos (leia o valor de  $E$  na caixa de texto amarela). Eles são todos os mesmos? Por quê?
- Ponha um cubo em torno da mesma carga pontual. A carga de teste agora mostra a direção do campo elétrico, e o menor ângulo (em graus) entre o vetor e um eixo vertical

também é mostrado. Movendo os vetores normais ao cubo e colocando a carga de teste em três pontos diferentes no topo da superfície, encontre o valor de  $E \cdot dA = E \cdot dA \cdot \cos\theta$  (assuma  $dA = 1$ ) neste três pontos. Eles são todos os mesmos? Por quê?

- c) No contexto de suas respostas acima, por que a esfera é uma melhor escolha do que o cubo como superfície gaussiana nesta aplicação da Lei de Gauss?
- d) Vamos tentar outra configuração de carga. Coloque uma esfera em torno de uma placa carregada (assuma que os círculos em cinza que você vê são longas barras carregadas que se estendem para dentro e para fora do plano da telha, sendo a placa carregada, uma seção de corte). O valor de  $E \cdot dA = E \cdot dA \cdot \cos\theta$  pode ser o mesmo em qualquer dos três pontos carregados sobre a superfície gaussiana? Explique, por que você poderia não querer usar a esfera para esta configuração?
- e) Agora, ponha um cubo em torno da mesma placa carregada (assuma que os círculos em cinza que você vê são longas barras carregadas que se estendem para dentro e para fora do plano da tela, sendo a placa carregada, uma seção de corte). Encontre o valor de  $E \cdot dA = E \cdot dA \cdot \cos\theta$  em três pontos no topo da superfície. Ele é essencialmente o mesmo para os três pontos? Como será  $E \cdot dA = E \cdot dA \cdot \cos\theta$  para as laterais?

## Guia de Atividades – Lei de Ampère

### Laço amperiano e corrente líquida

#### Placa Condutora

**AESA1)** Os pontos azuis em linha representam fios conduzindo correntes para “dentro” ou para “fora” do plano da tela do computador de modo que juntos formam uma placa condutora. A animação mostra o cálculo da integral de linha  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$  (o valor é mostrado na tabela e no gráfico de barras) conforme você move o cursor (círculo com um sinal de adição dentro) bem como as coordenadas do mesmo. O retângulo em preto é um laço amperiano.

- a) O que as setas em verde estão representando? Em qual sentido a corrente está fluindo nos fios? Explique.
- b) Se você mover o cursor ao longo da parte superior do laço amperiano, a integral será positiva ou negativa? Por quê?
- c) Mova o cursor para outro canto e zere a integral (“botão integral = 0”). Se agora você mover o cursor ao longo dos lados verticais do laço, qual será o valor desta integral comparado à parte de cima do laço? Por quê?

d) Quem está gerando campo magnético sobre o laço amperiano?

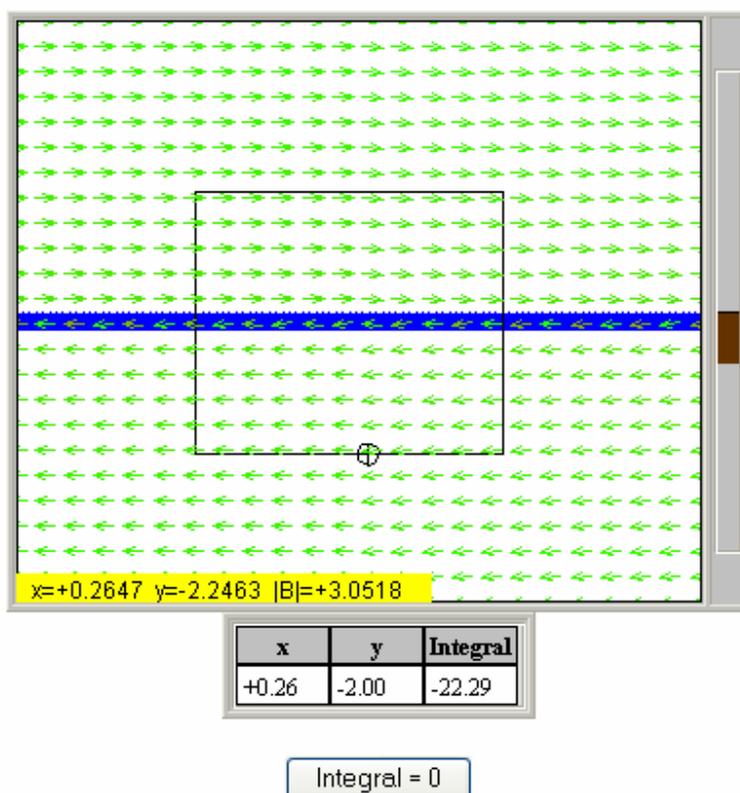


Fig. B4 – Tela ilustrativa da AESA1.

### Fios Condutores

**AESA2)** Cada fio está conduzindo corrente para “dentro” ou para “fora” da tela do computador (a posição é dada em mm e a intensidade do campo magnético em mT). Ative a integral (o cursor se transformará em um lápis) e desenhe o caminho fechado para o qual será calculada a integral do campo magnético na direção do percurso adotado ( $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$ ). Você pode zerar a integral em qualquer ponto que desejar, “desligar” a integral e mover o cursor para outro ponto para recomeçar. Para voltar à configuração inicial clique em “Reiniciar”. Dado:  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T.m}}{\text{A}}$ .

- Encontre a intensidade e o sentido das correntes conduzidas por cada um dos quatro fios na animação.
- Envolva dois ou mais fios em um caminho fechado qualquer (laço amperiano), traçando no sentido horário. Haverá alguma diferença se você refizer o mesmo caminho, mas com o sentido anti-horário? Por quê?

- c) Envolver os fios rosa e amarelo com um laço amperiano. O que podemos afirmar sobre a corrente que conduzem? E sobre o campo magnético sobre o laço amperiano?

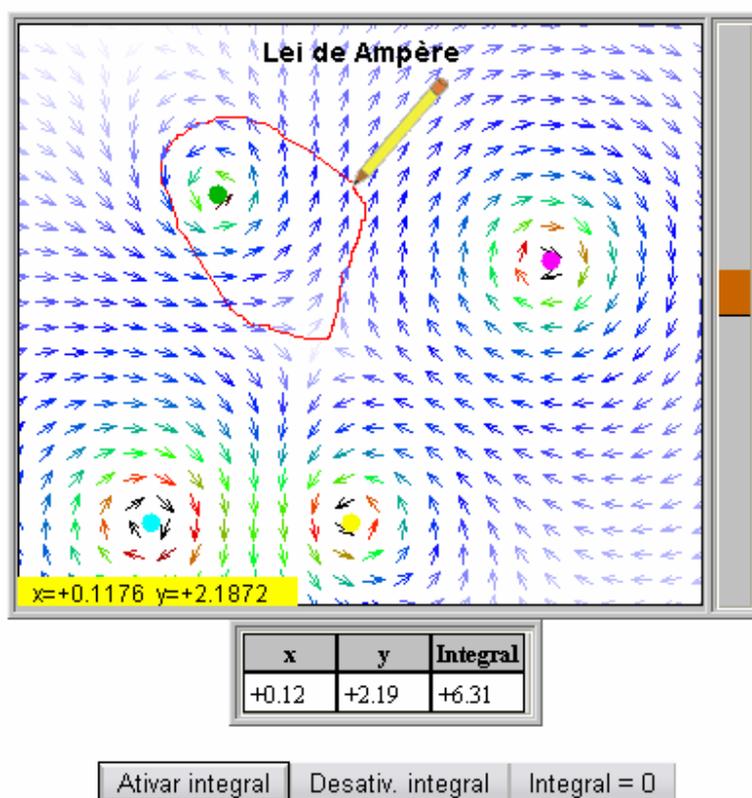


Fig. B5 – Tela ilustrativa da AESA2.

### Solenóide

**AESA3)** Um solenóide é formado por um longo fio condutor enrolado muitas vezes em torno de um cilindro. Esta animação mostra uma seção de corte do solenóide (cilindro). Cada volta do fio circula por trás e em frente à tela do computador, de tal forma que o que vemos é um “tubo cortado” pela metade ao longo de seu eixo principal e visto de lado (a posição é dada em [cm], a corrente em [A] e a intensidade do campo em [mT]). Você pode usar a primeira barra de rolagem para mudar a corrente conduzida pelo fio e a segunda para encolher ou esticar o solenóide (imagine uma “mola-maluca”, com as pontas conectadas numa fonte de corrente), tendo em mente que o número de voltas permanece o mesmo. O retângulo em preto é um laço amperiano.

- a) Para qual (is) dos lados do laço amperiano  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$ ? Por quê?
- b) Para o(s) outro(s) lado(s), mostre que  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = BL$ , onde L é o comprimento do lado e B é a intensidade do campo magnético naquele ponto.

- c) Quanta corrente é envolvida pelo laço amperiano? Quanto vale  $n$  (número de voltas por unidade de comprimento) quando o solenóide está comprimido ao máximo? Quem gera o campo magnético sobre o laço amperiano?
- d) Qual é o número total de voltas do solenóide? Obtenha uma expressão para a intensidade do campo magnético em função do comprimento do solenóide (lembre-se que o número de voltas do solenóide permanece inalterado ao esticá-lo ou comprimi-lo).

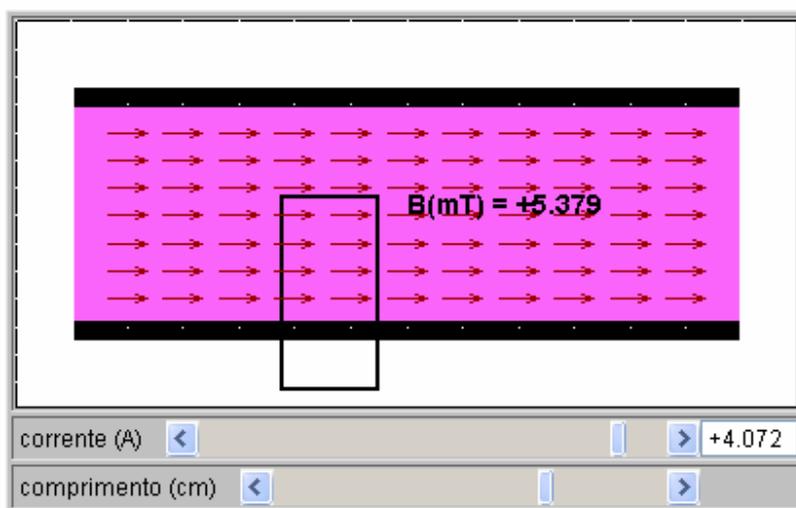


Fig. B6 – Tela ilustrativa da AESA3.

### Referências:

Material didático adaptado de: CHRISTIAN & BELLONI (2004) **Physlet Physics:** interactive illustrations, explorations, and problems for introductory Physics. Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.

## APÊNDICE C

### DIAGRAMA AVM PARA A MODELAGEM COMPUTACIONAL APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA

#### Componentes do diagrama AVM

No centro do Vê, estão o *fenômeno de interesse* que desejamos abordar, e as *questões-foco* que direcionam a análise/construção do modelo computacional. Na base do Vê, estão as *situações-problema*, que são descrições da situação/evento sob investigação para responder as questões-foco, e que contextualizam o fenômeno de interesse.

O lado esquerdo do diagrama concentra os aspectos teóricos do planejamento/análise do modelo computacional. Neste lado, aparece as *filosofias*, ou sistemas de crenças que servem de suporte para o desenvolvimento da modelagem da situação-problema, as *teorias* que guiam a elaboração do modelo, os *princípios e idealizações (contexto de validade)* assumidos, que determinam o contexto de validade do modelo, as *entidades* que o compõem e, as *variáveis e parâmetros* (com especificação dos *signos*) usados para representar estados e propriedades das entidades no modelo, as *relações matemáticas ou proposicionais* (na forma de um enunciado técnico, como “quanto maior isso...menor aquilo”), os *resultados conhecidos* usados para uma validação inicial do modelo, e que dependerão do conhecimento prévio do modelador sobre o sistema representado, e as *predições* que nada mais são do que tentativas iniciais de responder as questões-foco antes de executar o modelo.

No lado direito do Vê, correspondente ao domínio metodológico, estão: os *registros*, ou seja, as dados coletados para tentar responder as questões-foco; os *elementos interativos*, relacionados com as possibilidades de alteração dos parâmetros e variáveis durante o tempo de execução do modelo computacional; as *representações* fornecidas pelo modelo (gráficos, tabelas, etc) e pertinentes à busca de respostas, feitas a partir de transformações dos registros, e a *categorização da modelagem*, conforme a seguinte classificação:

- a) ao modo (*expressivo*: quando estamos construindo o modelo; ou *exploratório*: quando estamos apenas explorando-o);
- b) ao tipo (*qualitativa*: ligada à modelagem de construções lingüísticas e produções textuais; *semiquantitativa*: ligada ao uso de diagramas causais, sem o uso de relações numéricas; *quantitativa*: vinculada a modelos matemáticos, envolvendo valores numéricos e relações do tipo desigualdades e equações);
- c) à implementação: no modo expressivo, uma descrição da forma em que o modelo foi implementado no computador (através de metáforas, linguagem de programação, inserção de equações como se escreve, etc) e da ferramenta utilizada (*PowerSim, Fortran, Modellus*, etc). No

modo exploratório, uma indicação se é uma simulação autônoma, ou precisa ser executada dentro de algum programa. Sempre que possível deve ser indicada a ferramenta computacional usada para construir a simulação.

Ainda no lado direito do Vê, temos a etapa de *validação do modelo*, na qual comparamos os resultados conhecidos com os resultados gerados pelo modelo. Caso haja discordância entre ambos, o modelo é considerado insatisfatório e deverá ser modificado até que passe a reproduzir os resultados conhecidos. Neste estágio, diz-se que o modelo está validado. Então, passa-se a obter as *asserções do modelo*, ou seja, as respostas à(s) questão(ões)-foco, que sejam interpretações razoáveis dos registros e das representações fornecidas pelo modelo, permitindo também a avaliação das previsões. Por último temos as *possíveis generalizações e expansões do modelo*, que são as generalizações sobre a aplicabilidade da estrutura do modelo e como expandi-lo de modo a incluir, variáveis e relações não definidas inicialmente (mudança nas idealizações e princípios) ampliando o contexto de validade do mesmo.

É importante salientar que há uma permanente interação entre os dois lados do Vê de modo que tudo que é feito no lado metodológico é guiado pelos componentes do lado conceitual na tentativa de construir/analisar o modelo e responder as questões-foco. Esta interação mimetiza a recursividade intrínseca ao processo de modelagem.

Adaptação do Vê epistemológico para a Modelagem computacional aplicada ao Ensino de Ciências (Araujo, Veit & Moreira, 2004). Vê AVM para a construção de um modelo sobre um circuito RC do ponto de vista de um aluno iniciante.

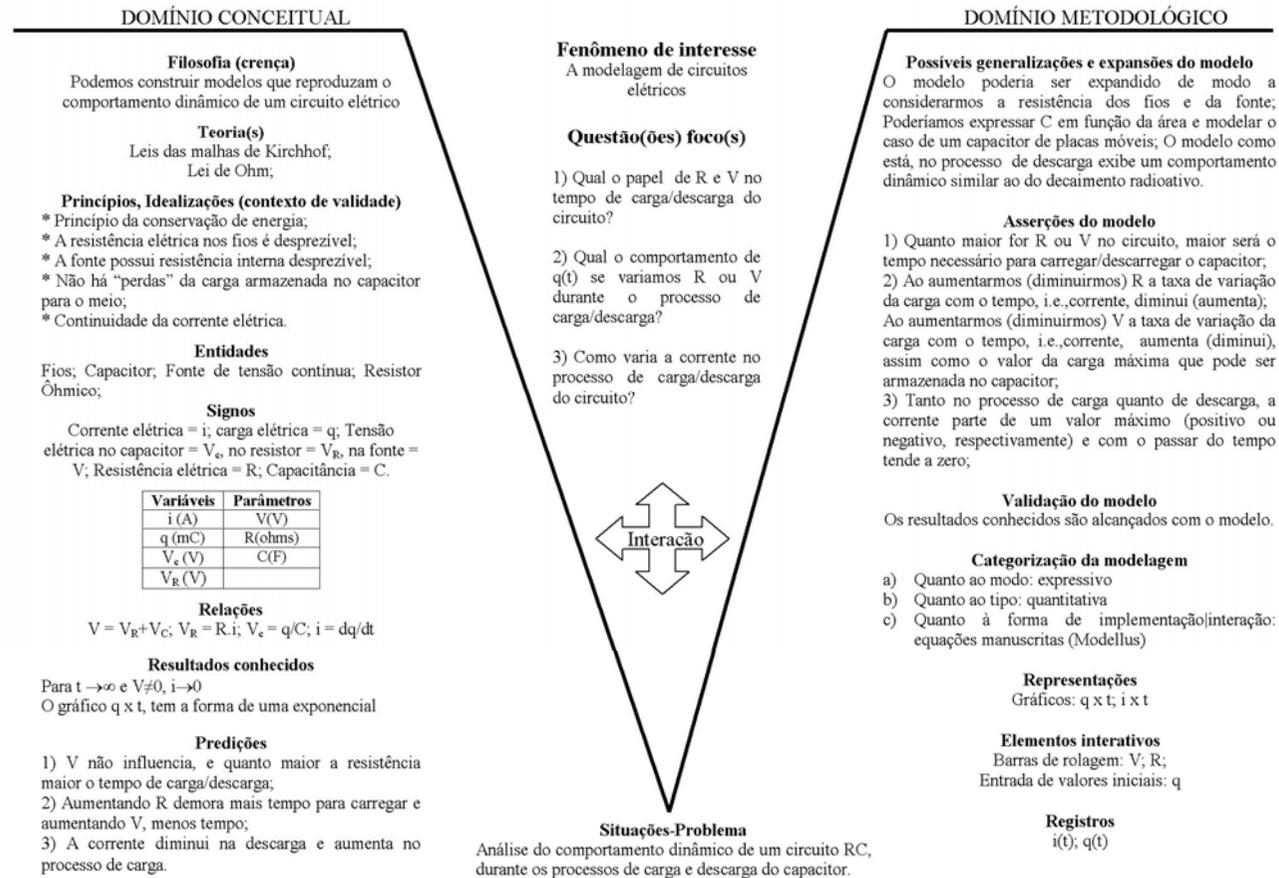


Fig. C1 – Diagrama AVM para a construção de um modelo sobre um circuito RC do ponto de vista de um aluno iniciante, ou seja, feito por um aluno que está iniciando sua trajetória no campo conceitual correspondente.

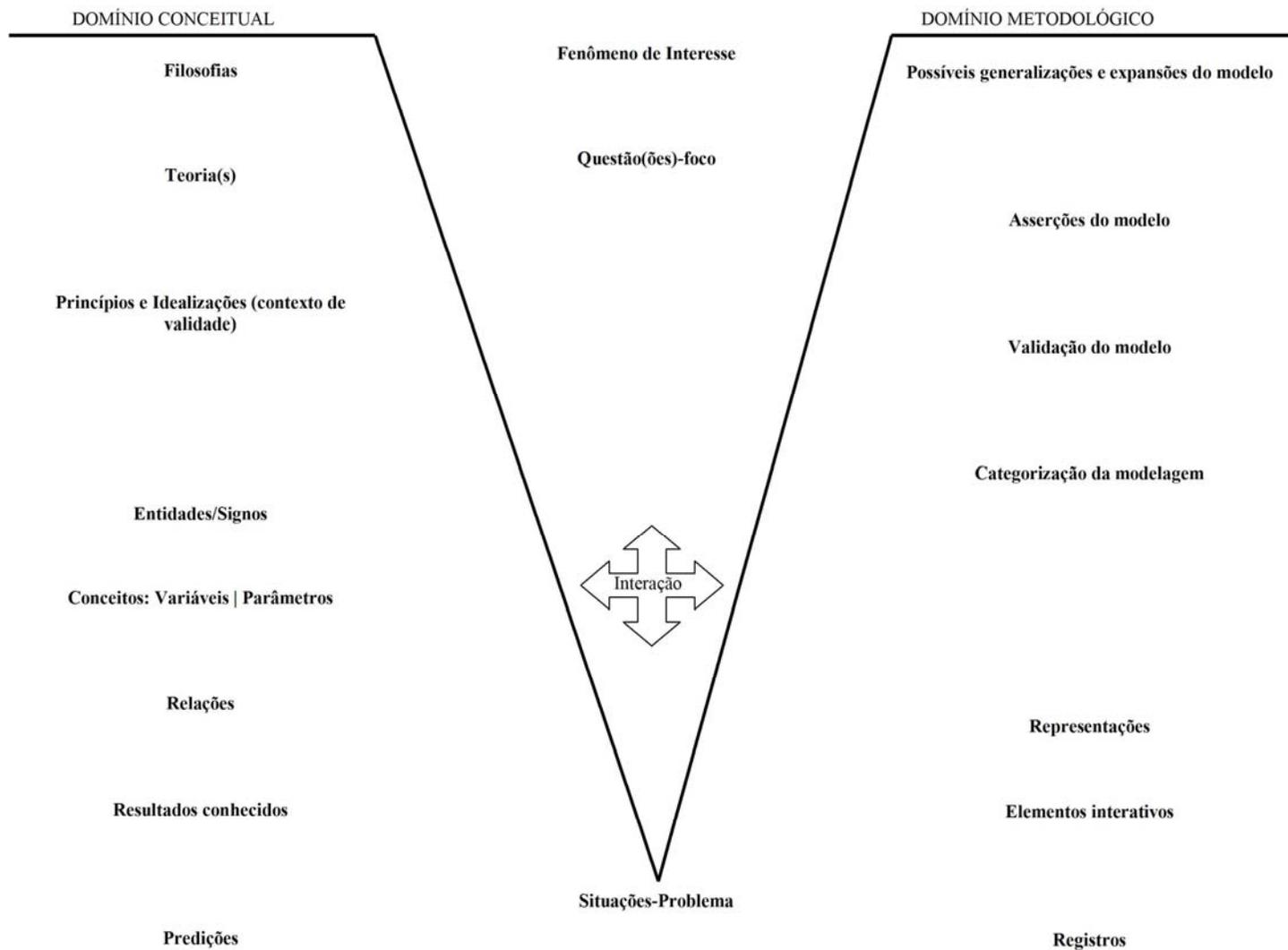


Fig. C2 – Esquema do diagrama AVM.

# APÊNDICE D

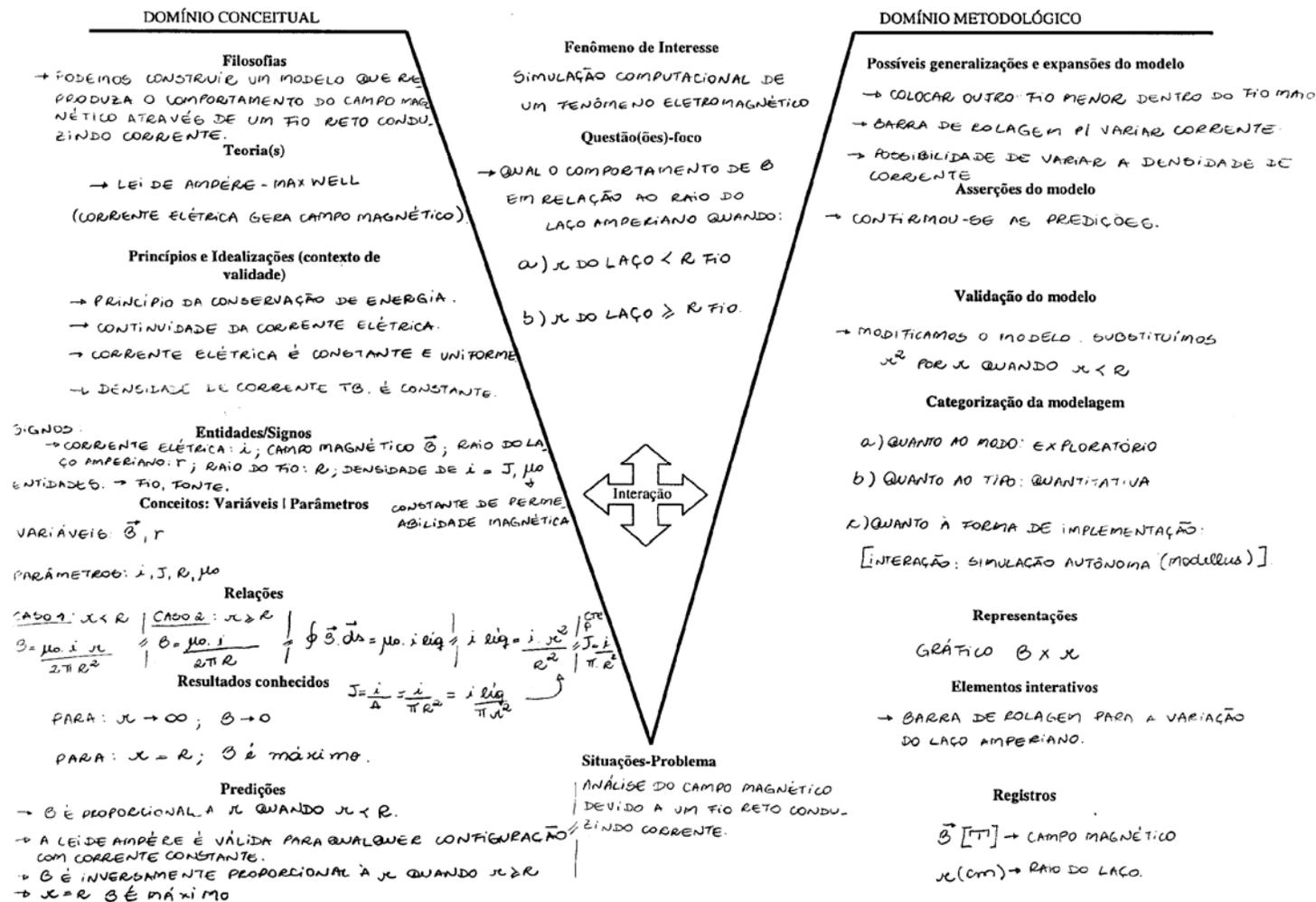


Fig. D1 – Diagrama AVM elaborado para a atividade exploratória de modelagem pelos Alunos 5 e 11.

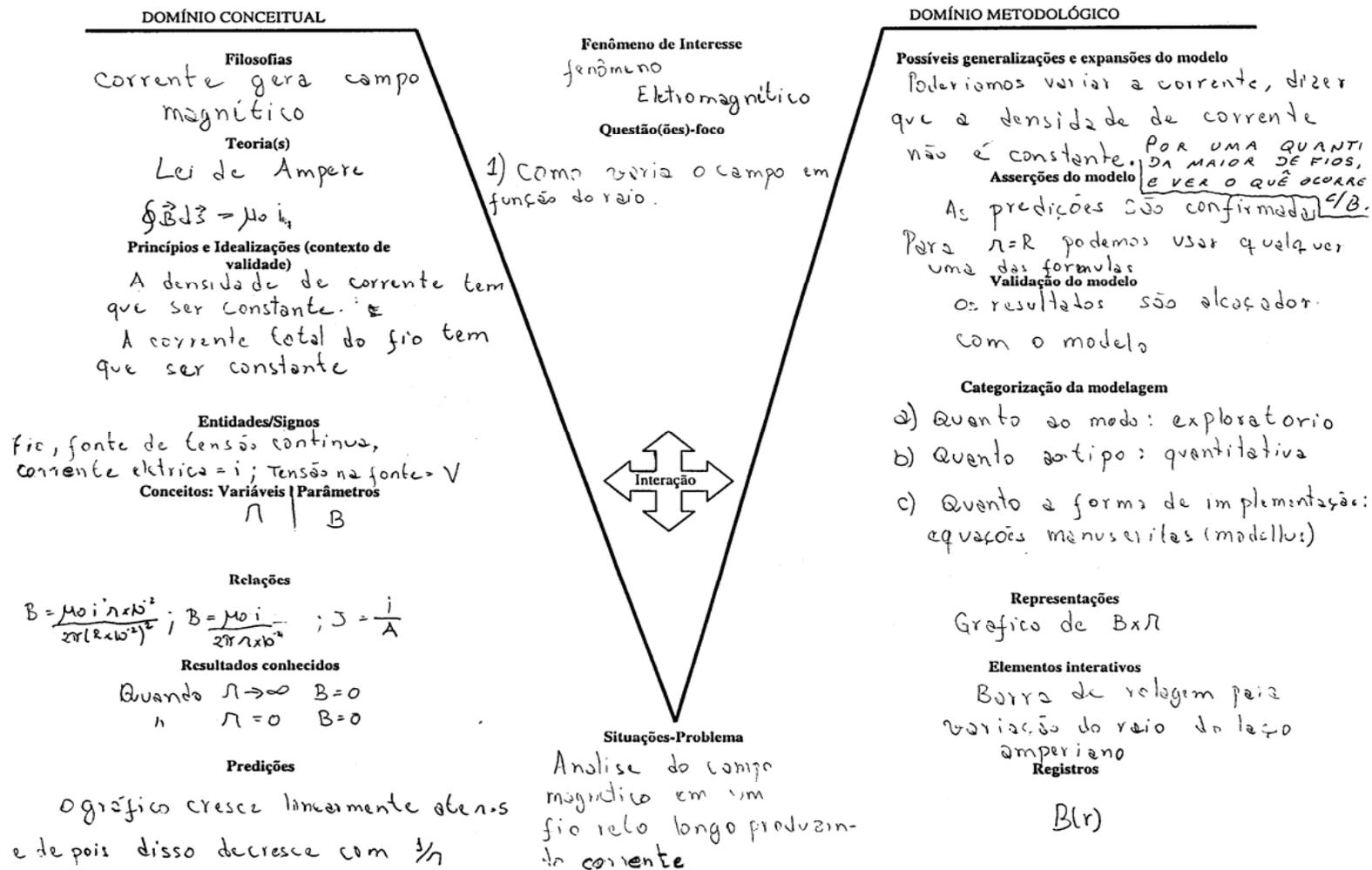


Fig. D1 – Diagrama AVM elaborado para a atividade exploratória de modelagem pelos Alunos 5 e 11.

