

Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e
Tecnológica

ALFREDO MÜLLEN DA PAZ

**ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E
INFORMATIZADAS: CONTRIBUIÇÕES PARA O
ENSINO DE ELETROMAGNETISMO**

TESE DE DOUTORADO

Florianópolis

2007

ALFREDO MÜLLEN DA PAZ

**ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E
INFORMATIZADAS: CONTRIBUIÇÕES PARA O
ENSINO DE ELETROMAGNETISMO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. José de Pinho Alves Filho, Dr.

Florianópolis

2007



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLÓGICA - CURSO DE DOUTORADO**

**“ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E INFORMATIZADAS: CONTRIBUIÇÕES
PARA O ENSINO DO ELETROMAGNETISMO”**

Tese submetida ao Colegiado do Curso
de Doutorado em Educação Científica
e Tecnológica em cumprimento parcial
para a obtenção do título de Doutor em
Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 14/11/2007

Dr. José de Pinho Alves Filho (CFM/UFSC - Orientador)

Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos (DF/FURG - Examinador)

Dr^a. Edla Maria Faust Ramos (CTC/UFSC - Examinadora)

Dr. Nilson Marcos Dias Garcia (DEPG/UTFPR - Examinador)

Dr. Frederico Firno de Souza Cruz (CFM/UFSC - Examinador)

Dr. Carlos Alberto Souza (CFM/UFSC - Suplente)

Dr. Nelson Canzian (CFM/UFSC - Suplente)


Dr. José André Peres Angotti
Coordenador do PPGECT


Alfredo Müllen da Paz

Florianópolis, Santa Catarina, novembro de 2007

*A memória de minha mãe Marina Müllen da Paz,
que me ensinou as primeiras letras sem as quais não chegaria aqui.*

*Aos meus adorados filhos Marina e Guilherme
que dão significado as minhas palavras.*

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado numa época marcante de minha vida, que oscilou entre períodos extremamente tristes e angustiantes a felizes e especiais.

Contudo, é nos momentos de maior crise que você descobre os seus verdadeiros amigos. Este é o momento de agradecê-los. Deixar registrado a minha profunda gratidão.

Ao Professor Dr. José de Pinho Alves Filho, pela orientação da Tese, por acreditar em mim antes mesmo de eu próprio o fazer, pelas incansáveis cobranças do mesmo, mas fundamentalmente por acreditar que eu poderia chegar ao final.

Ao amigo e Professor Dr. Fábio da Purificação de Bastos (dono do jipe do tio Fabi, segundo o meu filho) pela troca de idéias e sugestões a Tese, por me acolher no “puxadinho” depois de minha separação, pela atenção que deu a mim e a minha mãe em seus últimos anos de vida.

Aos amigos e Professores Dr. Elcio Schumacher e Vera Schumacher (dindo e dinda de meu filho), pelo apoio nas horas mais difíceis e pela paciência de escutar as minhas lamentações.

Ao Professor Dr. José André Peres Angotti, por me aceitar como orientando na ocasião da minha entrada no curso.

Aos Professores Dr. José André Peres Angotti, Dra. Edla Maria Faust Ramos e Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz, pela leitura do trabalho de qualificação da Tese e sugestões apresentadas.

Aos Professores Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos, Dr. Nilson Marcos Dias Garcia, Dra. Edla Maria Faust Ramos e Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz, pela leitura do trabalho de defesa da Tese e valiosas sugestões apresentadas.

Aos Professores do Curso de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica Dr. Arden Zylbersztajn, Dra. Vivian Leyser da Rosa, Dr. Demétrio Delizoicov e Dra. Nadir Ferrari, por ampliar meus horizontes.

Aos colegas de curso, pela convivência e troca de experiências. Em especial a agora Dra. Vera Lúcia Bahl de Oliveira e Ilse Abegg, esta última também por me “aturar” durante a minha permanência no “puxadinho”.

À Sandra, à Lucia e a Beth na secretaria do PPGECT acompanhando o meu histórico acadêmico.

À minha prima Andréia Regina de Andrade Bernardo e ao seu esposo Capitão Sidnei Olegário Bernardo pelo apóio pessoal nas horas difíceis e o socorro financeiro.

Aos amigos professores e funcionários do Colégio de Aplicação da UFSC, em especial, Paulo Roberto Silva de Oliveira, José Análio Trindade, Márcia Vieira Cardoso, Gilberto Viera Ângelo e Marlise Fagundes do Nascimento pela força e pela cobrança e por me ajudarem na hora do aperto.

Ao Professor Altamiro Quevedo Schervenski que cedeu os seus alunos para a nossa pesquisa.

À UFSC, onde me formei e hoje trabalho, que me concedeu quatro anos de afastamento para realização da Tese.

Ao Colegiado do PPGECT e à Câmara de Pós Graduação da UFSC, que entendeu os meus problemas pessoais me fornecendo uma prorrogação de prazo para o término da Tese.

À meus alunos, razão de meu esforço e sem os quais este trabalho não teria sentido.

Aos meus tesouros, Marina Medeiros da Paz e Guilherme Mangoni da Paz, por me darem a razão de não desistir.

Por fim, agradeço a duas pessoas, importantes na minha vida, cada qual a seu modo, que partiram este ano:

À memória da amiga e colega de trabalho Professora Dra. Terezinha de Fátima Pinheiro, pelo exemplo de vida e profissional que me deixou.

E fundamentalmente, à memória de minha mãe Marina Müllen da Paz, por seus 88 anos de vida, alegre e sempre de alto astral, por me ensinar as primeiras letras e também por me dar o exemplo para me reerguer. Obrigado, você está aqui presente!

"É preciso navegar, deixando atrás as terras e os portos dos nossos pais e avós; nossos navios têm de buscar a terra dos nossos filhos e netos, ainda não vista, desconhecida" (Nietzsche)

Resumo

O presente trabalho busca um modelo de ensino-aprendizagem que contemple as atividades experimentais aliadas aos recursos informatizados no ensino de Eletromagnetismo. Constatamos que as dificuldades de aprendizagem dos conteúdos de Eletromagnetismo se concentram no entendimento das interações e comportamento das variáveis eletromagnéticas no espaço tridimensional, no artifício da simplificação matemática neste espaço e nas próprias operações matemáticas. Adotamos a hipótese que essas dificuldades se traduzem como obstáculos, na concepção de Bachelard, para o aprendizado dos conceitos de Eletromagnetismo. Estabelecendo uma relação entre o processo epistemológico específico da produção desses conceitos e o processo pedagógico próprio ocorrente na situação de Ensino de Física, propomos um modelo de ensino-aprendizagem mais adequado em Eletromagnetismo com base em uma Transposição Didática com uma abordagem seqüencial. Assim elaboramos e aplicamos uma seqüência didática de atividades experimentais, fortalecida por atividades simuladas complementares as mesmas, contemplando as aplicações tecnológicas e as relações cotidianas vivenciais dos alunos de Ensino Médio. Assim, utilizando-se este modelo, verificamos que o trânsito entre os planos tridimensionais e bidimensionais nas atividades seqüenciais, assim como o tratamento das relações matemáticas entre as grandezas a partir das atividades virtuais, foram responsáveis pela superação dos obstáculos de aprendizagem dos conceitos de Eletromagnetismo, validando nossa tese.

Palavras-chave: Ensino de Física, Eletromagnetismo, Atividades Experimentais, Atividades de Simulação.

Abstract

The present work search a teaching-learning model that contemplates the allied experimental activities to the resources computerized in the teaching of Electromagnetism. We verified that the difficulties of learning of the contents of Electromagnetism concentrate on the understanding of the interactions and behavior of the variables of electromagnetism in the three-dimensional space, in the artifice of the mathematical simplification in this space and in the own mathematical operations. We adopted the hypothesis that those difficulties are translated as obstacles, in the conception of Bachelard, for the learning of the concepts of Electromagnetism. Establishing a relationship between the process specific epistemológico of the production of those concepts and the process own pedagogic that happens in the situation of Teaching of Physics, we propose a more appropriate teaching-learning model in Electromagnetism with base in a Didactic Conversion with an approach in sequence. We elaborated like this and we applied a didactic sequence of experimental activities, strengthened by complemental activities the same ones, contemplating the technological applications and the daily relationships lives of the students of Medium Teaching. Like this, being used this model, we verified that the traffic between the three-dimensional plans and two dimensions in the activities sequences, as well as the treatment of the mathematical relationships among the greatness starting from the virtual activities, they were responsible for the to overcome of the obstacles of learning of the concepts of Electromagnetism, validating our thesis.

Key-word: Teaching of Physics, Electromagnetism, Experimental Activities, Activities of Simulation.

Lista de Figuras

Figura 1.1: Mapa síntese do trabalho.....	28
Figura 2.1: Evolução temporal do Eletromagnetismo.....	42
Figura 2.2: Apresenta a interpretação de Oersted	50
Figura 2.3: Apresenta a concepção de Berzelius	53
Figura 3.1: Experiência de Oersted.....	93
Figura 3.2: Força magnética.....	93
Figura 3.3: Indução eletromagnética	94
Figura 4.1: Determinação direção Norte-Sul	117
Figura 4.2a: Agulha alinhada ao fio.....	117
Figura 4.2b: Agulha perpendicular ao fio	117
Figura 4.3a: Disposição (a)	118
Figura 4.3b: Disposição (b)	118
Figura 4.4: Regra da “mão direita”	119
Figura 4.5: Força magnética.....	120
Figura 4.6a: Força para esquerda	121
Figura 4.6b: Força para direita	121
Figura 4.7: Motor elétrico.....	121
Figura 4.8: Indução eletromagnética	122
Figura 4.9: Gerador eletromagnético.....	123
Figura 5.1: Tela inicial do Interactive Physics.....	164
Figura 6.1: Montagem 1a.	167
Figura 6.2: Mesma montagem 1a.....	168
Figura 6.3: Montagem 1b	168
Figura 6.4: Montagem 1c.....	169
Figura 6.5: Montagem 1d.	170
Figura 6.6: Montagem 1e.	171
Figura 6.7: Mesma montagem 1e.....	171
Figura 6.8: Montagem 2a.	173
Figura 6.9: Montagem 2b.	174
Figura 6.10: Mesma montagem 2b.....	175
Figura 6.11: Montagem 3.	176

Lista de Quadros e Gráficos

Quadro 2.1: Estágios de desenvolvimento da inteligência	66
Quadro 4.1: Cronograma de Atividades (parte 1).....	128
Quadro 4.2: Cronograma de Atividades (parte 2).....	129
Gráfico 4.1a: Alunos analisados.....	130
Gráfico 4.1b: Alunos por turma	130
Gráfico 4.2: Classificação Situação 1 (I)	133
Gráfico 4.3: Classificação Situação 2 (I)	135
Gráfico 4.4a: Classificação Situação 3 (I)	137
Gráfico 4.4b: Subdivisão (a).....	137
Gráfico 4.5: Classificação “linhas de indução”	141
Gráfico 4.6: Classificação Situação 1 e 2 (II)	143
Quadro 4.3: Evolução das afirmativas.....	144
Gráfico 4.7: Classificação Situação 1 (III)	146

Sumário

1. DISCURSO PRELIMINAR	14
1.1. Primeiras Palavras.....	14
1.2. Ensino de Eletromagnetismo, um modo de ver diferente	15
1.3. Delimitando o Problema.....	25
1.4. Conhecendo os elementos da pesquisa	26
2. OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NO CONTEXTO DO APRENDIZADO DE ELETROMAGNETISMO	29
2.1. Introdução.....	29
2.2. A epistemologia de Bachelard	31
2.3. O Eletromagnetismo na História da Ciência	39
2.4. O efeito magnético da corrente elétrica, um primeiro obstáculo	43
2.5. Crença e Ciência, a História da “descoberta” do Eletromagnetismo	45
2.6. Piaget e a Equilibração Cognitiva	57
2.8. O tratamento do “erro” no campo educacional	71
2.9. A superação e ruptura dos obstáculos.....	75
3. MODELOS, MODELIZAÇÃO E O COMPONENTE EMPÍRICO	79
3.1. Introdução.....	79
3.2. Os Modelos Conceituais	79
3.3. A modelização e a simulação	84
3.4. Os Modelos Mentais	87
3.5. O entendimento dos estudantes: os envolvidos	90
3.6. O entendimento dos estudantes: os procedimentos	91
3.7. O entendimento dos estudantes: a análise.....	95
3.8. Uma alternativa de ensino para o Eletromagnetismo	100
3.9. A Transposição Didática no Ensino de Eletromagnetismo	103
3.10. A experiência, a experimentação e as atividades experimentais.....	107

4. A SEQÜÊNCIA DIDÁTICA DE ELETROMAGNETISMO, UMA PROPOSTA DE ENSINO	112
4.1. Introdução	112
4.2. A seqüência didática proposta	114
4.3. As atividades experimentais de Eletromagnetismo	116
4.4. Aplicação da seqüência didática.....	124
5. O ENSINO EXPERIMENTAL E A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	149
5.1. O ensino de Ciências mediado por computador	149
5.2. Os aplicativos computacionais.....	157
5.3. A simulação computacional como modelo complementar às atividades experimentais de Eletromagnetismo.....	160
5.4. O aplicativo computacional educacional utilizado	162
6. A SEQÜÊNCIA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E A MODELIZAÇÃO MATEMÁTICA.....	165
6.1. Introdução.....	165
6.2. Aplicação da seqüência didática virtual	167
6.3. Considerações da seqüência didática virtual complementar as atividades experimentais	177
7. COMENTÁRIOS FINAIS.....	181
7.1 Avaliação final.....	181
7.2. Comentários Finais.....	185
8. BIBLIOGRAFIA	189
8.1. Referências Bibliográficas	189
8.2. Bibliografia Consultada	196
APÊNDICE I - O aplicativo computacional Interactive Physics.....	201
APÊNDICE II - Roteiros	219
APÊNDICE III - Avaliação	226

1. DISCURSO PRELIMINAR

1.1. Primeiras Palavras

Os fenômenos eletromagnéticos estão presentes em um número muito grande de aparelhos e equipamentos de nosso cotidiano, tais como rádios, computadores, televisores, geladeiras, motores e muitos outros. Desta forma, a compreensão do Eletromagnetismo tem enorme importância para o entendimento do mundo cotidiano, conseqüentemente, para a "educação do cidadão".

O ensino-aprendizagem do Eletromagnetismo, quase que em sua totalidade, nos remete a uma prática escolar desgastada. Freqüentemente, nós professores, mesmo com a sensação de estarmos no comando de um barco sem rumo, vemos a importância de transformar essa prática, requerendo desta forma, novos desafios, novas formas de ação escolar para nos transformarmos em educadores.

A idéia central é a de que o ensino das Ciências, no particular o ensino de Eletromagnetismo, deve acompanhar e seguir de perto a evolução da própria Ciência. Não só no que diz respeito aos seus resultados mas também no que diz respeito aos seus processos e conflitos.

As Ciências Naturais, e a Física em particular, enquanto áreas de conhecimento construídas, têm uma história e uma estrutura que, uma vez aprendidas, permitem uma compreensão da natureza e dos processos tecnológicos que permeiam a sociedade. Qualquer cidadão que detenha um mínimo de conhecimento científico pode ter condições de utilizá-lo para as suas interpretações de situações de relevância social, reais concretas e vividas, bem como aplicá-las nessas e em outras situações. (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1992, p.17).

Mais do que apresentar sugestões ou propostas concretas para implementação nas salas de aulas, pretendemos que este trabalho constitua

um arcabouço de reflexão e possa dar um contributo na construção de novas e consistentes idéias, sobre a natureza, o papel e o lugar da Ciência na aprendizagem de Física, especificamente no Eletromagnetismo.

No próximo tópico, tentaremos localizar o trabalho, indicando os pontos relevantes a serem considerados para uma transformação deste conhecimento, através de um instrumento de análise, pontos estes que serão aprofundados ao longo do texto.

1.2. Ensino de Eletromagnetismo, um modo de ver diferente

A origem primordial de nossa motivação para este trabalho fundamenta-se basicamente nos 17 anos de atividades docentes no Colégio de Aplicação (CA) da Universidade Federal de Santa Catarina, onde assumimos a filosofia norteadora do mesmo: *“O Colégio de Aplicação, inserido que está na Universidade, se propõe a ser um Colégio Experimental, onde se desenvolvem práticas e se reproduzem conhecimentos em função de uma melhor qualidade de ensino.”* (Manual do Aluno, 2005, p.2)

A escolha do tema para investigação deste trabalho, desta forma, abrange vários fatores, como as atividades no Colégio envolvendo adolescentes, ávidos pelo uso das novas tecnologias informáticas e, também, o conhecimento adquirido por nós ao longo do estudo ergonômico cognitivo informatizado¹ no curso de mestrado realizado no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção (Área de Ergonomia Cognitiva), assim como, a necessidade de aprofundamento das teorias de educação científica e tecnológica.

Este trabalho pode ser entendido como uma continuação “formativa” das discussões apresentadas na Dissertação de Mestrado *“Ensino Experimental de*

¹ A Ergonomia Cognitiva refere-se aos processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora conforme afetem as interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema. Os tópicos relevantes incluem o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, interação homem computador, stress e treinamento conforme esses se relacionem a projetos envolvendo seres humanos e sistemas.

Física, Assistido por Computador, na Escola Formal de 2º Grau de Institutos de Ensino Superior” (Paz, 1999), onde buscamos um modelo de aprendizagem que contemplasse as atividades experimentais de Física utilizando-se de recursos informatizados. Desta forma, visamos um melhor aproveitamento no aprendizado dos conhecimentos científicos, especificamente os conceitos da Física pelos alunos do Ensino Médio. Sustentamos que se deve fornecer aos alunos instrumentos que os instiguem e facilitem a sua aprendizagem, vinculando a tecnologia ao meio em que vivem e estudam, supondo que possam através do raciocínio e da reflexão construir o seu próprio saber.

Ao longo de nossa prática pedagógica como professor de Física e discussões com professores do Ensino Superior (mais especificamente com os das áreas de ciências), percebemos que os alunos egressos do Ensino Médio, apresentam uma perspectiva parcial e, às vezes, equivocada a respeito de vários conceitos físicos. Nos programas tradicionais de Física (Clássica) ensinada no Ensino Médio e nas disciplinas básicas de cursos universitários (Física, Química, Engenharias, etc), alguns tópicos são mais facilmente aceitos e entendidos pelos alunos do que outros, talvez, pelo ensino ser trabalhado de forma fragmentária e sem contextualização.

Constatamos também, que as dificuldades de aprendizagem são objeto de constantes investigações pelos pesquisadores da área nos últimos anos e têm apontado resultados na indicação de suas causas. A idéia de que o individuo desde sua infância elabora e desenvolve estruturas conceituais e/ou modelos explicativos para construir uma visão do mundo que o cerca, é extremamente forte e necessária. Tais estruturas e/ou modelos devem ser coerentes e fornecer uma compreensão da realidade, de maneira simples e lógica em seu referencial próprio, isto é, sob seu ponto de vista.

Estas estruturas intelectuais individuais, denominadas de concepções alternativas, espontâneas, idéias intuitivas, etc, por diferentes autores, como Viennot (1979), Driver (1986), entre outros, se mostram muito “resistentes” a modificações quando confrontadas aos modelos científicos. O conflito gerado entre a explicação pessoal e aquela proposta pela Ciência, atrelado muitas vezes à nossa inabilidade como professores em tratar esse conflito, interfere na

aprendizagem dos modelos científicos e resulta em um baixo rendimento escolar.

Dentre os conteúdos de Física que apresentam um grau maior de dificuldade de aprendizagem, comparado aos demais, está o Eletromagnetismo. Os professores, de modo geral, declaram que os estudantes expressam dificuldades na aprendizagem dos fenômenos, leis e conceitos que o envolvem. Estudos, tais como Borges (1996, 1997 e 1999), se dedicam ao estudo da evolução dos modelos mentais ligados ao Eletromagnetismo. Apesar desses estudos, consideramos reduzidas as discussões que possam nos levar ao encontro das reais dificuldades de aprendizagem.

No Ensino Médio, o trabalho é basicamente realizado com adolescentes e é principalmente na adolescência que são observadas transformações visíveis no comportamento do aluno. Nesta fase, devido à ampliação do potencial de reflexão, o adolescente passa a construir teorias próprias ou reconstruir teorias já existentes, tem o desejo de ser diferente dos demais, quer ser o reformador do mundo. Reúne-se com outros adolescentes formando "grupinhos" e, acaba percebendo a fragilidade de suas teorias. O adolescente passa por uma fase em que atribui um poder ilimitado ao seu pensamento mas, na realidade, desejam um futuro promissor visando transformar o mundo pela idéia.

Nesta perspectiva, na visão piagetiana, que o adolescente passa por inúmeras alterações devido ao amadurecimento das faculdades intelectuais e morais provocando um desequilíbrio provisório que conduz posteriormente a um equilíbrio superior.

Já por um outro viés, a partir da perspectiva epistemológica bachelardiana, podemos apontar os obstáculos epistemológicos relativos à apropriação de um conceito básico do Eletromagnetismo: a formação de um campo magnético em torno de um fio em que passa uma corrente elétrica, a conhecida experiência de Oersted. Tal experiência, na literatura tem se mostrado muito aquém no processo de formação dos saberes dos educandos

e, na elaboração pobre de modelos de intervenção didática para o processo ensino-aprendizagem.

Explicitamos alguns dos obstáculos epistemológicos relativos a construção deste conceito, seus atos de entendimento e sugestões de atuação docente que podem contribuir para melhorar o processo ensino-aprendizagem. Em particular, queremos analisar aqueles relativos à construção do conceito de campo eletromagnético pelos alunos de nível médio.

Neste íterim, é importante explicitar que, apesar de muitas das grandezas físicas (ex: força, campo gravitacional, quantidade de movimento, potencial elétrico, etc.) e suas interações, em todos os conteúdos de Física, serem distribuídas no espaço tridimensional, o ensino formal lineariza ou “chapa”² estas interações, com o objetivo de “simplificá-las” e de “facilitar” a aprendizagem. Dessa forma, no Ensino Médio, os conteúdos que antecedem ao Eletromagnetismo quase sempre estão ligados à relação de duas variáveis dispostas linearmente ou, no máximo, ao plano. Já no ensino de Eletromagnetismo a relação passa a ser de três variáveis distribuídas no espaço. Esta imposição espacial das variáveis e suas respectivas interações, de certa forma, fogem dos modelos anteriores utilizados nos conteúdos já estudados tornando-se um obstáculo pedagógico na aprendizagem do aluno.

Aliado à necessidade do domínio espacial das variáveis tem-se na Matemática, outro obstáculo, no sentido de perceber as projeções das variáveis, simplificando as operações matemáticas das grandezas vetoriais (Ensino Médio) ou entendimento teórico do produto vetorial (universitários). O aprendizado somente ocorrerá se houver uma articulação entre a fenomenologia descrita pelas grandezas físicas e a matemática com suas operações formais (Pinheiro, Pietrocola & Pinho Alves, 2001) .

Desta forma, o resultado esperado dessa investigação é localizar pontualmente as dificuldades de aprendizagem do conteúdo de

² Utilizaremos a expressão “chapar” no sentido de planificar determinadas interações tridimensionais.

Eletromagnetismo pelos alunos do Ensino Médio. Por hipótese, basicamente existem duas fontes de dificuldades:

(a) o entendimento das interações e comportamento das variáveis eletromagnéticas no espaço tridimensional;

(b) o artifício da simplificação matemática neste espaço.

Essa simplificação matemática poderá, então, nos levar a uma terceira fonte de dificuldades:

(c) as próprias operações matemáticas.

O conhecimento dessas dificuldades e sua extensão permitirão reorganizar a seqüência do conteúdo do Eletromagnetismo, construindo novas situações didáticas que venham a favorecer o aprendizado. Como situações didáticas entende-se a inserção de atividades experimentais, diagramas evolutivos, objetos tecnológicos do cotidiano, que possibilitem proposições problematizadoras e levem a um processo de modelização teórica mais adequado.

Devemos levar em consideração nesta modelização, uma contradição entre o objeto de estudo e sua comunicação, que precisa ser explicitamente considerada no ensino. Para Robilotta & Babichak (1997), a Física engloba o conhecimento de uma parte do mundo natural e fundamenta-se em teorias altamente estruturadas. Tais autores afirmam que a *Estrutura Conceitual Teórica da Física* determina uma relação sincrônica entre suas partes, ou seja, essas partes são concomitantes, tornando essa estrutura de conceitos manipuláveis e permitindo que possam ser observadas a partir de perspectivas diferentes. Já o *Ensino de Física*, na informação do conteúdo físico de uma teoria, de modo diferente da própria teoria, está relacionado, segundo os mesmos autores, a atividades diacrônicas, ou seja, há uma evolução temporal dos conceitos físicos que participam do modelo.

Através da proposta de um modelo, construído com a utilização de atividades experimentais trabalhadas coletivamente em sala de aula,

pretendemos favorecer o domínio por parte do aluno da fenomenologia, não só no sentido de compreender e interpretar os fenômenos físicos que se apresentam à percepção como lhes dar significado. Aliado a isso, complementamos o modelo com a introdução de um programa de simulação em computador que possa facilitar aos alunos a visualização dos conceitos e o aprendizado das relações matemáticas, respeitando sua velocidade de aprendizagem e o seu nível de compreensão matemática.

Para construir tal modelo, assumimos o pressuposto que a utilização de atividades experimentais é necessário no ensino de Física e, hoje em dia, o computador tem um papel importante para o desenvolvimento do processo educacional científico desta área. Estas atividades são geralmente desconsideradas, frente a condicionantes, “impostos” pela comunidade escolar da maioria das escolas de Ensino Médio, que priorizam o “formulismo” matemático (ensino que prioriza o uso de regras, fórmulas e algoritmos, os populares “macetes”) de resolução de problemas acadêmicos, visando a preparação para o vestibular e desconsideram, sobremaneira, a revolução que direciona a sociedade industrial para uma sociedade da informação.

A origem desta revolução e sua importância, pode ser apresentada, segundo Drucker (1993), como uma mudança no significado de conhecimento iniciado há 250 anos atrás, que transformou a sociedade e a economia. O conhecimento formal é visto tanto como a chave do enriquecimento pessoal tanto quanto uma chave do recurso econômico. Pode-se considerar que, o conhecimento é a fonte significativa preponderante. Os tradicionais “fatores de produção” da terra (recursos naturais), do trabalho e do capital, não desapareceram, mas se tornaram secundários. A facilidade de obtenção do conhecimento, resulta na utilidade do mesmo como os meios de obter resultados econômicos e sociais.

Assim a importância do conhecimento formal, expresso no ensino de Física aliada às atividades experimentais, se mostra como uma opção concreta. A opção a esta forma de ensino não é recente. Loedel (1949) mostra o método de ensino, quanto a dedução e indução do conhecimento e aprendizado dos princípios físicos, relacionando as atividades experimentais

como um fator preponderante do ensino de Ciências Naturais. O autor exalta a importância ao domínio do “vocabulário científico”, com a realização de atividades experimentais.

Vemos com isto que a preocupação em utilizar tais atividades, não é de forma alguma um fato recente, contudo, se constitui num tema bastante atual. Visando um melhor ensino de Ciências, a Física em especial, assumimos que a Física experimental é de grande importância, pois,

em parte, isto se deve ao fato de que o uso de atividades práticas³ permite maior interação entre o professor e os alunos, proporcionando, em muitas ocasiões, a oportunidade de um planejamento conjunto e o uso de estratégias de ensino que podem levar a melhor compreensão dos processos das ciências.(ROSITO, 2000, p.197).

Apesar da aparente aceitação da utilizabilidade dos recursos experimentais no ensino de Ciências, baseado em Hodson (1994, 1998), Rosito (2000), Pinho Alves (2000), pode-se questionar o que se pretende com o uso dos mesmos:

- Há motivação por parte dos alunos em realizar as atividades experimentais?
- Há melhor compreensão dos conceitos científicos com estas atividades?
- Qual a concepção que os alunos adquirem sobre ciências com as atividades experimentais desenvolvidas?
- As atividades experimentais podem facilitar o trabalho do professor?

Responder a tais questões, nos remete à estruturação das atividades experimentais de acordo com as preferências de ensino do professor, podendo ser demonstrativas (organizadas e dirigidas), ou o oposto, que equivale às atividades experimentais investigativas, levando a ação e a reflexão e a aquisição do conhecimento numa concepção eminentemente construtivista.

³ Rosito (2000), adota o termo “atividades práticas”, para as atividades experimentais visando a aprendizagem de Ciências pelos alunos. Contudo manteremos a opção pelo termo atividades experimentais, onde uma explicação mais elaborada poderá ser vista no capítulo 3.

Talvez um dado importante dessa análise tenha sido notar que os conteúdos são apresentados de forma fragmentada nos livros didáticos, não permitindo uma relação entre diferentes tópicos. Certamente isso vem contrariando as propostas dos PCN onde as diversas disciplinas devem apresentar eixos temáticos (conteúdos específicos daquela disciplina) e temas transversais (não específicos a um ramo do conhecimento). Nos temas transversais a proposta é trabalhar conteúdos em diferentes contextos articulados com o conteúdo dos eixos temáticos. Para que essa articulação transdisciplinar ocorra, torna-se fundamental que a própria disciplina não seja fragmentada.

Este resquício de fragmentação ainda pode ser constatado na maioria dos currículos atuais de Ciências, que privilegia os conteúdos científicos tradicionais dos livros didáticos, sem a atenção para uma maior atualização destes conteúdos, e

o professor não pode ser considerado o único culpado por esse estado de coisas (...), dentre outros fatores importantes, todo um arsenal editorial voltado para a manutenção dos currículos, tal e qual eles se apresentam atualmente. E o livro didático é um dos referenciais básicos do professor” (SILVA, 1999, p.7).

A partir de 2000, contudo, uma nova visão estabelecida pelos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) propõe reformular tanto a organização dos conteúdos escolares quanto a formação dos professores.

...é preciso superar a visão enciclopédica do currículo, que é um obstáculo à verdadeira atualização do ensino, porque estabelece uma ordem tão artificial quanto arbitrária, em que pré-requisitos fechados proíbem o aprendizado de aspectos modernos antes de se completar o aprendizado clássico e em que os aspectos “aplicados” ou tecnológicos só teriam lugar após a ciência “pura” ter sido extensivamente dominada. (BRASIL, 2000, p.49)

Junto aos PCNs, foi elaborado pelo Ministério da Educação e Cultura em 2002 os PCNs+, os quais procuram oferecer subsídios aos professores para a implementação da reforma pretendida e são divididos por áreas de conhecimento.

Os PCNs+ se aliam aos PCNs procurando dar um novo sentido ao ensino da Física, destacando que se trata de “construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade” (RICARDO, 2003, p.9)

Um outro fator presente atualmente na integração da Ciência e as aplicações tecnológicas, é a utilização de uma ferramenta atual, os computadores pessoais⁴, com softwares capazes de despertar a atenção dos mais céticos. Permitem reordenar os atuais conteúdos a fim de elaborar um currículo mais integrado e moderno abrindo espaço para o aprendizado dos conceitos físicos com os avanços científicos e tecnológicos e suas implicações sociais.

Mesmo considerando os obstáculos a superar, uma proposta curricular que se pretenda contemporânea deverá incorporar como um dos seus eixos as tendências apontadas para o século XXI. A crescente presença da ciência e da tecnologia nas atividades produtivas e nas relações sociais, por exemplo, que, como conseqüência, estabelece um ciclo permanente de mudanças, provocando rupturas rápidas, precisa ser considerada. (BRASIL, 2000, p.12)

As vantagens e limitações originárias do uso do computador na Educação estão vinculadas principalmente à forma como o mesmo é utilizado, ou seja, a utilização deste vai ser determinada em grande parte pela filosofia de Educação dos educadores que vão empregá-lo como um instrumento didático no processo ensino-aprendizagem. Em outras palavras, o que muitos vêem como vantagem pode ser considerado por outros como uma séria limitação ou mesmo um emprego incorreto do instrumento.

O computador, Paz (1999), por características que lhe são próprias, apresenta algumas vantagens sobre outros instrumentos didáticos em muitas situações de ensino, como:

⁴ Explicitamos que o computador não existe sem o software. Na realidade quando falamos do computador enquanto recurso informatizado, estamos nos referindo aos aplicativos computacionais (os softwares).

- É um recurso audiovisual superior aos demais por ser interativo, podendo solicitar e responder às intervenções do aluno, evitando que este permaneça passivo e, conseqüentemente, que se disperse para outros aspectos não relevantes da situação;
- Possui a vantagem de poder obedecer ao ritmo próprio de cada aluno. Por exemplo, no caso do aplicativo utilizado, repetindo uma mesma animação o número de vezes que o aluno desejar, ou, esperando o tempo que for necessário por uma resposta do aluno;
- Outro ponto positivo a ser ressaltado é a prontidão com que o aluno recebe o feedback às suas intervenções. Por exemplo, num ambiente computacional, o aluno pode ver imediatamente uma animação, após qualquer passo da construção da simulação.

Estas características, que fazem do computador um instrumento volitivo totalmente diferente daqueles com os quais o aluno se relaciona habitualmente, podem talvez ser responsabilizadas pelo alto grau de motivação, por parte dos alunos, em usar o instrumento sempre que possível, isto porque, mesmo já tendo tido algum contato com o computador, os alunos continuam predispostos a novos contatos.

A motivação e a volição são extremamente importantes para qualquer aprendizagem, pois, sem elas, é pouco provável que a atenção do indivíduo esteja voltada para o que deve aprender. Neste sentido, acredita-se que a motivação e a volição, aliada a outros pontos positivos do computador, pode contribuir significativamente para o processo ensino-aprendizagem.

Voltando ao PCNs, evidenciamos o papel da informática na Educação quando das definições de competências e habilidades a serem desenvolvidas no ensino médio. Consideramos como um dos itens dessas definições o papel que a escola, e o seu processo intrínseco, o ensino, atribui ao uso da informática na educação: *“reconhecer a Informática como ferramenta para novas estratégias de aprendizagem, capaz de contribuir de forma significativa*

para o processo de construção do conhecimento, nas diversas áreas” (BRASIL, 2000, p.189).

Contudo cremos que somente um meio isoladamente não é suficiente para superar os obstáculos do ensino aprendizagem em Eletromagnetismo. Assim vislumbramos em nosso trabalho, vivenciar uma experiência de como e em que condições se poderia trabalhar com um software educacional visando a melhoria do processo ensino-aprendizagem de conceitos de Eletromagnetismo, utilizando-se de seus recursos de simulação, associados a atividades experimentais, possibilita a reflexão e desenvolvimento das várias etapas do raciocínio.

Devemos enfatizar, que as atividades experimentais, assistidas por computador, não devem funcionar apenas como constatação da teoria, fazendo com que os alunos as separem da realidade vivencial do cotidiano, mas que estas atividades gerem questionamentos que levem a refletir e desenvolver em si mesmo a busca de soluções, e que associem a Ciência as constantes inovações tecnológicas e ao uso correto desta tecnologia de informação atual.

1.3. Delimitando o Problema

Baseados nas considerações anteriores, adotamos a hipótese de que as dificuldades que se traduzem como obstáculos para o aprendizado de Eletromagnetismo, para além dos conceituais específicos, se concentram:

- (a) na visualização espacial das interações entre as grandezas físicas;
- (b) nas relações matemáticas que envolvem estas grandezas;

Nossa proposta inicial é verificar as hipóteses estabelecidas acima, de forma que, em relação a hipótese (a), considerando as teorias de construção do conhecimento científico, propor e elaborar uma seqüência didática experimental, em um modelo de ensino aprendizagem mais adequado em Eletromagnetismo e, em relação a hipótese (b), propor e elaborar uma seqüência didática computacional, que contemple as aplicações tecnológicas,

utilizando-se *atividades simuladas* e as relações cotidianas vivenciais dos alunos de Ensino Médio, sendo que estas atividades *são complementares a seqüência didática experimental*.

1.4. Conhecendo os elementos da pesquisa

Em razão das considerações expostas anteriormente, elegeremos como foco principal, a investigação da arquitetura de um modelo de ensino-aprendizagem de Eletromagnetismo no Ensino Médio. Esse modelo é fundamentado nas atividades experimentais concretas, de forma que tais atividades, também possam ser realizadas como atividades de simulação informatizadas. A partir deste foco principal, podemos eleger alguns objetivos específicos:

- Identificar e diagnosticar as dificuldades de aprendizagem dos conceitos básicos de Eletromagnetismo e suas origens.
- Identificar em função dos esquemas conceituais alternativos dos alunos, as relações entre suas experiências frente as atividades experimentais.
- Investigar as inter-relações de similaridade e diferenças entre as atividades experimentais enquanto possam ser realizadas como atividades experimentais informatizadas.
- Propor uma seqüência didática para um curso de Eletromagnetismo, que envolva um modelo de aprendizagem baseado em atividades experimentais que permitam a compreensão dos conceitos principais do Eletromagnetismo, no que tange principalmente aos seus aspectos tridimensionais na relação das variáveis envolvidas.
- Propor um processo de modelização matemática através de um programa de simulação por computador.
- Aplicar a seqüência didática e analisar o seu resultados em uma turma do Ensino Médio.

Estabelecidas estas diretrizes, que serão alvo de nossa investigação nos capítulos posteriores, encerramos o nosso discurso preliminar, organizando as nossas idéias, com o intuito de fazer emergir o problema de investigação, os elementos da pesquisa, e a possível validação de nossas hipóteses. É apresentado assim, como um mapa síntese do modelo proposto, no esquema (Figura 1.1) da página 28.

A Figura 1.1, apresenta numa representação gráfica em um diagrama, as indicações das relações entre os conceitos e elementos da pesquisa. Representam uma estrutura que vai desde os conceitos mais abrangentes (indicados pelos balões de linhas cheias) concomitantes com os menos inclusivos (indicado pelos balões de linhas tracejadas). As setas são utilizadas para auxiliar a ordenação e a seqüenciação hierarquizada dos conceitos trabalhados, no sentido de cima para baixo. A abordagem desta representação está embasada em um modelo construtivista, de forma a dar significado aos elementos da pesquisa e chegar a um modelo sistematizado de Ensino de Eletromagnetismo.

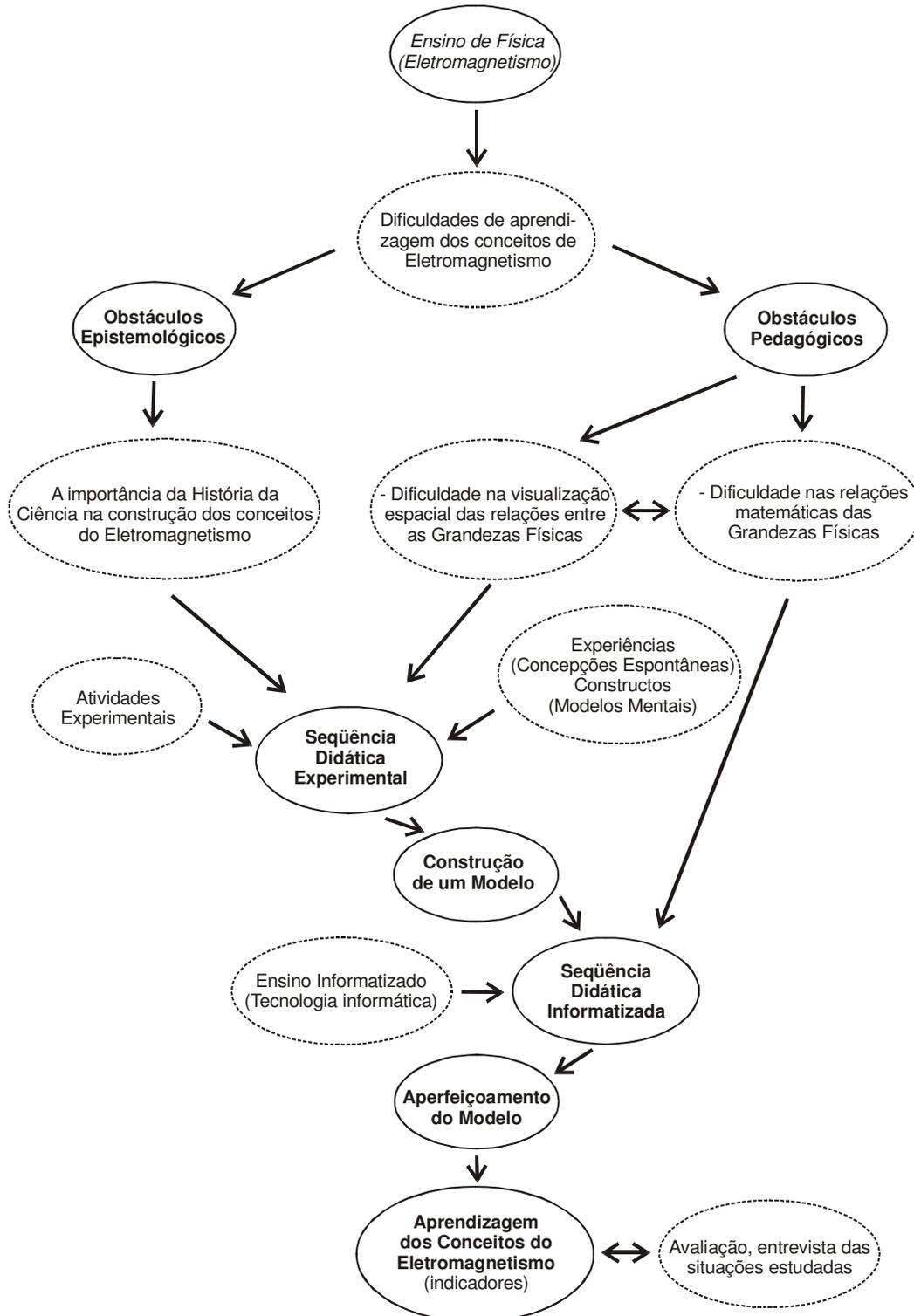


Figura 1.1: Mapa síntese do trabalho

2. OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NO CONTEXTO DO APRENDIZADO DE ELETROMAGNETISMO

2.1. Introdução

No Ensino Médio os conteúdos de Eletromagnetismo são geralmente estudados no final do ciclo de ensino. A seqüência de ensino é estruturada em função de um tópico básico do Eletromagnetismo: a relação entre Eletricidade, ou mais especificamente a Eletrodinâmica e o Magnetismo, que em outras palavras é o aparecimento do campo magnético em razão da corrente elétrica.

Esta relação é, na maioria das vezes, apresentada e explicada pelos professores, tanto do Ensino Médio como em alguns casos no Ensino Superior, através da experiência de Oersted. Este tópico é mostrado de uma forma geralmente banal, tanto a configuração do campo magnético, assim como a própria concepção de campo, circular em torno de um fio percorrido por uma corrente elétrica. São desconsideradas as dificuldades dos alunos na observação das propriedades de simetria deste fenômeno, já que uma das razões é a de que os mesmos, até este ponto, têm toda uma concepção de estudos realizada sempre no plano bidimensional.

A discussão deste capítulo é baseada fundamentalmente em dois artigos de Martins, o primeiro: *Oersted e a descoberta do Eletromagnetismo* de 1986, que apresenta um relato histórico crítico detalhado do trabalho de Oersted de 1820 sobre a “descoberta” do Eletromagnetismo e, o segundo: *Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do Eletromagnetismo* de 1988, sobre o modo pelo qual a História da Física pode contribuir para o esclarecimento conceitual de certos pontos básicos da Física, como a produção de um campo magnético em torno de um fio percorrido por uma corrente elétrica.

De um ponto de vista mais geral, os trabalhos de Martins (1986 e 1988), mostram a existência de fortes relações entre *concepção epistemológica* e posicionamentos no *campo pedagógico*, evidenciando de que modo uma

concepção metafísica do conhecimento vincula-se a uma tradição pedagógica caracterizada pela idéia de transmissão de conteúdos.

Além disso, este capítulo também tem por objetivo apresentar o nosso referencial no campo epistemológico, situando-o no contexto da pesquisa atual em educação científica, através dos trabalhos de Gaston Bachelard e Jean Piaget.

Utilizamos o referencial epistemológico de Bachelard por dois motivos. Primeiramente pelo fato de ser uma epistemologia histórico-crítica, onde os conceitos de “ruptura” e “obstáculo epistemológico” são a base da discussão do conhecimento científico e, segundo pelo interesse e estudos do próprio Bachelard na prática educacional no ensino de Física.

Por outro lado, caso fôssemos refazer o percurso histórico das últimas décadas de pesquisa, certamente encontraríamos a epistemologia genética de Piaget fundamentando grande parte dos estudos sobre o ensino da ciência, ao longo dos anos sessenta e setenta. Esse referencial, mais propriamente psicológico, não é alheio à história e à filosofia das ciências. Pelo contrário, o paralelismo existente entre o desenvolvimento histórico de certas idéias científicas e as concepções manifestas pelas crianças sobre as mesmas idéias é um marco na visão de Piaget. Desse modo, podemos estabelecer relações entre a natureza do conhecimento científico e de sua produção com a aprendizagem das ciências.

Também discutimos como esses referenciais respondem a certos questionamentos e ajudam a interpretar alguns dos principais obstáculos no ensino de Eletromagnetismo, onde procuramos estabelecer relações entre o pensamento bachelardiano e a epistemologia genética de Jean Piaget.

Por fim, nos fundamentamos também nas idéias de Brousseau (1981) que, inspirado em Bachelard e Piaget, argumenta que os obstáculos de origem epistemológica são verdadeiramente constitutivos do conhecimento, ou seja, são aqueles do qual não se pode escapar e que se pode em princípio encontrar na história do conceito. Segundo o autor, eles estão ligados à resistência do

saber mal-adaptado, vistos como um meio de interpretar alguns erros, cometidos pelos estudantes.

2.2. A epistemologia de Bachelard

Não caberia nos limites deste trabalho, e não ousaríamos, analisar toda a obra de Gaston Bachelard, nem tão pouco eleger sua epistemologia como real ou exata, pois: *“corremos o risco de retratar a epistemologia bachelariana como um sistema acabado, quando sua marca central é exatamente o eterno recomeçar, a nos exigir uma constante vigilância epistemológica”*. (Lopes, 1996, p.248). Neste sentido tentaremos enaltecer a importância da História das Ciências na produção do conhecimento científico, realizando a uma breve discussão de dois conceitos básicos e fundamentais de sua obra - os conceitos de “obstáculo epistemológico” e “ruptura” - com os quais tentaremos enquadrar a “descoberta” do Eletromagnetismo.

Podemos situar a obra bachelardiana no contexto da revolução científica promovida no início do século XX (1905) pela Teoria da Relatividade, formulada por Albert Einstein. Todo seu trabalho acadêmico objetivou o estudo do significado epistemológico desta Ciência então nascente, procurando dar a à mesma uma filosofia compatível com a sua novidade. E é partindo deste objetivo que Bachelard formula suas principais proposições para a filosofia das ciências: a historicidade da epistemologia e a relatividade do objeto. Resumindo, a nova ciência relativista rompe com as ciências anteriores em termos epistemológicos e a sua metodologia já não pode ser empirista, pois seu objeto encontra-se em relação. Não é mais absoluto.

Várias vezes, nos diferentes trabalhos consagrados ao espírito científico, nós tentamos chamar a atenção dos filósofos para o caráter decididamente específico do pensamento e do trabalho da ciência moderna. Pareceu-nos cada vez mais evidente, no decorrer dos nossos estudos, que o espírito científico contemporâneo não podia ser colocado em continuidade com o simples bom senso. (BACHELARD, 1972, p.27)

Compreender o progresso do conhecimento científico é para Bachelard nas palavras de Japiassú (1976), antes de tudo, discutir o problema do “*obstáculo epistemológico*”. Este conceito foi introduzido e analisado no seu livro “A formação do Espírito Científico”, como sendo “*retardos e perturbações que se incrustam no próprio ato de conhecer, (...) uma resistência do pensamento ao pensamento*” (Japiassú, 1976, p.171).

Nessa obra, Bachelard divide a História da Ciência em três grandes períodos, representando: o *estado pré-científico* (da Antigüidade ao século XVIII), o *estado científico* (fins do século XVIII ao início do século XX) e a era do *novo espírito científico* (a partir do ano de 1905, com o surgimento da Teoria da Relatividade).

Ao considerarmos um espírito verdadeiramente científico, todo conhecimento deverá ser uma resposta a um questionamento pois, “*um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não questionado.*” (Bachelard, 1996, p.19). Assim será resultante de um trabalho de interrogação da realidade, onde o agente da História das Ciências tem por atributo o fato de que ele não nos é fornecido, mas deve ser por nós construído, num processo sem solução de continuidade, assim numa visão internalista:

Fazer a História das Ciências consiste em fazer a história dos conceitos e das teorias científicas, bem como das hesitações do próprio teórico. Trata-se de um esforço para se elucidar em que medida as noções, as atitudes ou os métodos ultrapassados foi, em sua época, um ultrapassamento. Mais profundamente, como nos mostrou Canguilhem, interrogar-se sobre a história das ciências consiste em interrogar-se ao mesmo tempo sobre sua finalidade, sobre seu destino, sobre seu por quê, mas também sobre aquilo pelo que ela se interessa, de que ela se ocupa, em conformidade com aquilo que ela visa (SILVA, 1986, p.2).

Devemos então considerar tal História das Ciências não só descritiva nem como uma narrativa cronológica das produções do saber, mas, a construção do seu próprio agente. Para Bachelard, segundo Japiassu (1976), a História das Ciências não é absolutamente empírica e sim é a história do “*progresso das ligações racionais do saber*”.

Para Bachelard, a História da Ciência não se limita ao relato cronológico das idéias ou uma ordenação dos problemas científicos mas, por uma inversão epistemológica que vem a nos mostrar que a realidade estudada pela Ciência não é simples, e sim vem a tornar-se simples como resultado de um trabalho de simplificação. É a solução encontrada desse trabalho que reflete sua clareza sobre os dados. Nesse sentido, Canguilhem (1968) afirma que no pensamento bachelardiano, o historiador das Ciências deve tomar as idéias como fatos. O obstáculo epistemológico leva-nos a uma relevância para os erros surgidos ao longo do processo científico, erros estes omitidos ou desconhecidos, ou ainda mascarados pela história tradicional. O erro, por oposição, faz surgir a verdade e, como consequência, uma autêntica História das Ciências.

Esta autenticidade é dada pelo conjunto de argumentos que se estabelece, clareando o pensamento empírico. Assim os obstáculos encontram-se no interior do próprio ato de conhecer. E na verdade, “*o ato de conhecer dá-se contra o conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos*” (Bachelard, 1996, p.17).

Bachelard (1996) procura analisar a natureza dos obstáculos epistemológicos, usando exemplos principalmente da história da ciência do século XVIII. Abaixo, apresentaremos, brevemente, alguns dos obstáculos elencados por ele, procurando clarear o significado e a amplitude desse importante conceito.

Um primeiro obstáculo seria a *observação primeira*, imediata, que visa a compreensão do real partindo de um dado puro, ou seja, a evidência primeira não é uma verdade fundamental. Este obstáculo advém de um *empirismo ingênuo*, onde os fatos aparecem antes das razões, sem condições para experimentar.

Bachelard indica o risco do deslumbramento, do contentamento do espírito com as experiências “coloridas” e, coloca como exemplo as experiências da ciência da Eletricidade do século XVIII. Com interesses escusos que imobilizam a razão na controvérsia, sobre a natureza da eletricidade, entre Jean Antoine Nollet e os seguidores de Benjamin Franklin, utilizada para investigar até que ponto a fé católica e a protestante

desempenharam um papel, quanto ao discurso, no âmbito da filosofia natural.

O espírito pré-científico, denominado por Bachelard, contenta-se com essa ciência de primeira aproximação, em que não é preciso compreender, basta ver. Ao contrário, o espírito científico deve se constituir "*contra*" o natural, resistindo ao mesmo. As experiências primeiras formam-se do concreto e subjetivo, logo, "*não é pois de admirar que o primeiro conhecimento objetivo seja um primeiro erro*" (Bachelard, 1996, p.68).

Um segundo obstáculo epistemológico seria o *conhecimento geral*, onde a generalização poderia estagnar o pensamento, ou seja, visando explicar tudo de uma lei ou conceito, o espírito pré-científico pode não explicar coisa alguma. "*Nada prejudicou tanto o progresso do conhecimento científico quanto a falsa doutrina do geral, que dominou de Aristóteles a Bacon, inclusive, e que continua sendo, para muitos, uma doutrina fundamental do saber.*" (Bachelard, 1996, p.69). Assim o autor propõe a discussão de como a generalidade pode obstaculizar o avanço científico, pois muitos professores ao invés de aprofundar seu estudo, analisando o maior número possível de probabilidades, realizando uma quantidade suficiente de experimentos, podem chegar, e na maioria das vezes chegam, a resultados equivocados porque simplesmente generalizaram o conhecimento daquilo que estavam a estudar.

Ligado ao obstáculo anterior, aparece o *obstáculo verbal*, onde uma única imagem pode constituir toda a explicação, os conhecimentos objetivos concentram-se em objetos privilegiados. Bachelard exemplifica que a alavanca, o espelho, a bomba, a peneira, apresentam-se como esse obstáculo, que leva a "*físicas específicas, generalizadas apressadamente*" (Bachelard, 1996, p.99). Como exemplo, bastante discutido nas aulas do Ensino Médio, é a expressão "choque térmico", largamente aplicado pelos alunos, como se a simples expressão pudesse tudo explicar. O obstáculo confunde-se com fenômenos elétricos (choque elétrico) tanto como fenômenos mecânicos (colisão), imaginados como os fenômenos térmicos.

Os *conhecimentos unitário e pragmático*, para Bachelard, também se constituem obstáculos. O primeiro, leva a generalizações amplas, com características filosóficas, tal que, os "princípios gerais da natureza" podem acabar com as experiências. Já o pragmatismo constitui-se em obstáculo

quando leva à idéia de que "*encontrar uma utilidade é encontrar uma razão*" (Bachelard, 1996, p.115). A ligação entre o verdadeiro e o útil seria uma característica da mentalidade pré-científica. "*Pergunto ainda a todo Físico sincero se está interiormente convencido de que essa força magnética, tão universal, variada, espantosa e admirável, foi produzida pelo criador apenas para orientar as agulhas imantadas, que foram tanto tempo desconhecidas do gênero humano...*" (Swinden apud Bachelard, 1996, p.115).

Bachelard analisa outro importante obstáculo epistemológico, o *obstáculo substancialista*, que se mostra de diversas formas. Caracteriza-se pôr atribuir a um fenômeno a qualidade de uma determinada substância, ou seja, uma mesma substância pode apresentar qualidades diversas e até opostas. No obstáculo substancialista, há um grande número de adjetivos para um mesmo substantivo, quando o progresso científico dá-se no sentido inverso, de uma redução desse número. De forma complementar, a presença do obstáculo substancialista quando o espírito pré-científico faz corresponder a qualidade de uma substância. Para a ciência moderna a substância é uma "*concretização de idéias teóricas abstratas*" (Bachelard, 1996, p.143).

Entende-se este obstáculo como um erro inicial ao aprendizado, na medida em que se considera que "*o movimento epistemológico é alternado, do interior para o exterior das substâncias, prevalecendo-se da experiência externa evidente, mas escapando a crítica pelo mergulho na intimidade*" (Bachelard, 1996, p.121).

Existe também o *obstáculo animista*, ligado a intuição da vida nos mais variados fenômenos. O obstáculo animista concede ao corpo humano ou a fenômenos vitais, propriedades explicativas sobre um dado fenômeno. Para este obstáculo o espírito pré-científico associou a vida aos fenômenos elétricos, aos minerais, ou seja, o pensamento que busca o concreto e não a abstração. A vida é uma palavra chave e imediatamente relevante, a "*imagem animista é mais natural; logo, mais convincente*" (Bachelard, 1996, p.202).

Por fim, Bachelard descreve ainda os *obstáculos ao conhecimento quantitativo*. O conhecimento qualitativo puro já conteria um erro a ser

corrigido, não significando que, qualquer "quantificação" seja automaticamente objetiva. A importância está no *método de medir*, mais do que no *objeto da mensuração*. A grande variedade dos primeiros termômetros, é um exemplo, comparada com a padronização quase imediata dos instrumentos de medida atuais, onde as grandezas devem ser pensadas relativamente aos métodos de medida.

Também para este obstáculo, há um claro sinal do espírito não científico, mesmo que este espírito vise a objetividade científica. "*O excesso de precisão, no reino da quantidade, corresponde exatamente ao excesso de pitoresco, no reino da qualidade.*" (Bachelard, 1996, p.261). Como exemplo, na interferência de duas disciplinas, física e matemática, no cálculo de uma determinada área, as aproximações conforme a necessidade do uso da constante π , onde o valor estereotipado 3,1416, que se afasta da precisão possível.

Já o termo "ruptura" é usado por Bachelard segundo Trindade (1996), para indicar uma descontinuidade entre o conhecimento comum (cultura primeira) e o conhecimento científico (cultura elaborada) e também, para caracterizar dificuldades na construção de conhecimentos. Por exemplo, a passagem de um ciclo evolutivo da Ciência para outro [uma Revolução Científica, no sentido de Kuhn (1978)]. Na idéia de ruptura epistemológica e a sua exigência nesta nova História das Ciências, o progresso do conhecimento não se faz num passo imutável, nem pelo acúmulo dos novos conhecimentos, mas na descontinuidade referente as teorias anteriores, rompendo com os princípios absolutos.

Para Bachelard, o *novo espírito científico*, encontra-se em descontinuidade, em ruptura, com o senso comum. Isso significa uma distinção, nesta nova ciência, entre o universo em que se localizam as opiniões, os preconceitos, o senso comum e o universo das ciências. Tal pressuposto é algo imperceptível nas ciências anteriores, baseadas em boa medida nos limites do empirismo, em que a ciência representava uma continuidade, em termos epistemológicos, com o senso comum. A "ruptura epistemológica" entre a ciência contemporânea e o senso comum é uma das marcas de sua teoria.

Do mesmo modo, segundo Bachelard, o conhecimento ao longo da História das Ciências não pode ser avaliado em termos de acúmulos, mas de rupturas, de retificações, num processo dialético em que o conhecimento científico é construído através da constante análise dos erros anteriores.

O espírito científico é essencialmente uma retificação do saber, um alargamento dos quadros do conhecimento. Julga o seu passado condenando-o. A sua estrutura é a consciência dos seus erros históricos. Cientificamente, pensa-se o verdadeiro como retificação histórica de um longo erro, pensa-se a experiência como retificação da ilusão comum e primeira. (BACHELARD, 1996, p.120)

A utilização conjunta dos conceitos de obstáculo, ruptura e novo espírito científico permitem à História da Ciência de Bachelard tornar aparente a construção lenta, difícil e retificada do conhecimento científico que, como já afirmamos anteriormente, não evolui numa linha contínua e rígida. É preciso reconhecer os erros e desordens e, as superações que ocorreram ao longo do tempo. É de grande importância a história das discontinuidades surgidas na formação do saber científico.

Sem interesse em uma resposta pronta e definitiva, poder-se-ia perguntar, a esta altura, o significado para Bachelard, do “pensar cientificamente?”. Uma possível resposta, segundo Silva (1986), dentre outros modos de se dizer, é que se trata de uma forma de pensar que difere radicalmente do senso comum, o qual o racionalismo científico precisa absolutamente ultrapassar, estabelecer um rompimento, uma negação, para o estabelecimento do novo, do efetivamente científico, diferente das impressões primeiras dos sentidos.

O fenômeno, fenômeno científico, a que se refere Bachelard, já não é mais fenômeno bruto, retirado de uma realidade espontânea que se apresenta gratuitamente ao conhecimento humano. É, pois, fenômeno de cultura, trabalhado, depurado, numa palavra, racionalizado. Realismo técnico: eis aí, no entender de Bachelard, um dos traços distintivos do espírito científico contemporâneo, não mais realismo ingênuo. Trata-se, aqui, como é perceptível em todo o pensamento de Bachelard, que a ciência refere-se a um real construído. (SILVA, 1986, p.2)

Podemos também justificar tal resposta, na constatação desta convicção pelo próprio Bachelard quando ele afirma que, a

...época contemporânea, realiza precisamente a ruptura entre conhecimento vulgar e conhecimento científico (...) O simples fato de haver agora o caráter indireto das determinações do real científico basta para nos situar num reino epistemologicamente novo (...) O pensamento científico atual distingue-se, no próprio espírito do cientista, do pensamento vulgar (BACHELARD, 1977, p. 121,122 e 124).

Numa tentativa de síntese, poderíamos então afirmar que, na construção da Ciência, para Bachelard, as certezas evidentes devem ser rompidas com as estruturas de representação do real; tem-se de construir novas estruturas, ou seja, um novo universo conceitual.

Vimos assim que a caracterização dos conceitos de obstáculo, ruptura e novo espírito científico, relevam um grau de importância na construção da Ciência. Mas Bachelard, além de epistemólogo, também era professor. Podemos então caracterizar estes conceitos na prática educacional onde, os obstáculos epistemológicos se traduzem como *obstáculos pedagógicos*.

“Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão” (BACHELARD, 1996, p.23)

Os obstáculos pedagógicos são barreiras à apropriação do conhecimento científico, de forma que obstruem a atividade racional do aluno. Bachelard critica o desconhecimento ou o não-reconhecimento, pelos professores, da existência desses obstáculos para a formação do pensamento científico, já que os mesmos não podem ser negligenciados na vida educativa.

Continuaremos a discutir os obstáculos voltados a prática educacional mais adiante, mas antes, tentaremos identificar os obstáculos epistemológicos do Eletromagnetismo no desenvolvimento da história da ciência.

2.3. O Eletromagnetismo na História da Ciência

Como vimos anteriormente, Bachelard enaltece a importância da História da Ciência para a construção do conhecimento. Desta forma consideramos necessário, para o professor e, conseqüentemente, na sua prática pedagógica com o aluno, conhecer a História da Ciência, identificando assim os obstáculos epistemológicos da construção desse conhecimento, de forma a facilitar a compreensão e o entendimento dos conceitos fundamentais. Podemos afirmar, assim, que a História da Ciência e, em particular, a História do Eletromagnetismo poderão colaborar para ultrapassar os obstáculos pedagógicos da falta de significação presente nas aulas de Física, onde prevalece a importância das fórmulas e equações sem um real significado.

Vemos que os exemplos da História da Eletricidade e do Magnetismo mencionados por Bachelard (1996) evidenciam os obstáculos que se incrustam no pensamento impedindo-o de prosseguir. A evolução dessas idéias, teorias e conceitos são ressaltados porque estes conhecimentos possuem características singulares, pois estão diretamente relacionadas às sensações experimentadas pelos sentidos, já que fenômenos elétricos e magnéticos impressionam, provocando, segundo Bachelard, a distração do investigador.

A relação entre os fenômenos elétricos, os magnéticos e os óticos, não era conhecida, até o fim do século XVII, a época da publicação dos *Principia* de Newton. Dessa forma, esses fenômenos eram tratados como campos independentes da Ciência. Nos séculos subseqüentes, os fenômenos elétricos e magnéticos foram gradualmente sendo relacionados, numa unificação experimental, até a formação da área de estudos do Eletromagnetismo. Somente ao término do século XIX, a nova Ciência do Eletromagnetismo unificou-se, por sua vez, com a ótica, de forma experimental e teórica, quando Maxwell demonstrou que a luz poderia ser compreendida como uma onda eletromagnética.

Já a noção de campo surgiu inicialmente como uma construção matemática "conveniente" para descrever as forças, que são conceitos centrais na mecânica de Newton. Entretanto, no século XIX, devido principalmente aos

trabalhos de Maxwell, o conceito de campo passa a ocupar o papel central na descrição física da realidade. De fato, a mudança foi ainda maior, porque foi então que surgiu a primeira grande unificação da Física: a identidade dos campos elétrico e magnético.

A fim de verificarmos a relevância da História do Eletromagnetismo no nosso cotidiano, elencamos, baseados em Rocha (2002), na ordem cronológica, quatro momentos importantes neste ramo do conhecimento, e que dão significado ao ensino do Eletromagnetismo, já que as aplicações dessas descobertas, estão presentes em nossa vida diária.

1º) A do *efeito magnético da corrente elétrica*, importante devido a ruptura epistemológica do conhecimento científico.

...devido ao Físico dinamarquês Hans C. Oersted⁵, em 1820. Sua importância está, não só nas aplicações tecnológicas que se seguiram à sua descoberta mas, principalmente, pelo enorme avanço conceitual que ela significou. Neste mesmo ano, os franceses Dominique F. Arago e Joseph L. Gay-Lussac inventaram o *eletroímã*, que nada mais é que uma aplicação tecnológica dos resultados obtidos por Oersted e que hoje é usado em campainhas, guindastes, auto-falantes, receptores telefônicos, etc. (ROCHA, 2002, p.186).

2º) A do *efeito da força sobre um fio condutor em meio a um campo magnético*, com importante aplicação prática.

Ainda em 1820, foi descoberto um outro fenômeno básico relacionado ao Eletromagnetismo, o qual hoje pode ser enunciado da seguinte forma: surgirá uma força sobre um condutor imerso num campo magnético, toda vez que por ele passar uma corrente elétrica. Este fenômeno é base de funcionamento do motor elétrico, inventado pelo Físico inglês Michael Faraday. O *motor elétrico* é usado em qualquer dispositivo que transforme energia elétrica em energia mecânica, como é o caso do liquidificador, da furadeira e do galvanômetro de bobina móvel. (ROCHA, 2002, p.186).

3º) A da *indução eletromagnética*, talvez a que gerou as aplicações

⁵ Hans Cristian Ørsted (1777-1851) foi um das figuras mais importantes na vida intelectual da Dinamarca. Ele é principalmente conhecido como o “descobridor” do Eletromagnetismo, quer dizer o campo magnético criado por uma corrente elétrica.

práticas de maior importância ao desenvolvimento social.

... *indução eletromagnética*, isto é, da produção de corrente elétrica em um circuito, a partir de efeitos magnéticos é outra contribuição importante para o avanço do conhecimento científico e tecnológico. O gerador mecânico de eletricidade, inventado por Faraday, em 1831, é a aplicação mais conhecida deste fenômeno. Ele é usado nas usinas hidrelétricas para gerar energia, a qual é utilizada, por exemplo, no consumo doméstico. Este dispositivo transforma energia mecânica em energia elétrica. (ROCHA, 2002, p.186).

4º) A das *ondas eletromagnéticas*, considerado o mais significativo acontecimento da História da Física.

Previstas teoricamente pelo físico escocês James C. Maxwell, por volta de 1861, e verificadas experimentalmente em 1887 pelo Físico alemão Heinrich Hertz. Hoje, ondas de natureza semelhante àquelas obtidas por Hertz são emitidas, por exemplo, pelas antenas das emissoras de televisão e são captadas pelas antenas dos aparelhos de TV, em nossas casas. (ROCHA, 2002, p.186).

Entendemos que na prática educacional, dos quatro fenômenos anteriormente citados, a descoberta do primeiro: o efeito magnético da corrente elétrica, é de fundamental importância pois, estabelece uma ruptura no conhecimento científico a respeito do Eletromagnetismo e que, a identificação desta ruptura pelos alunos, oportunizará também a superação dos obstáculos de aprendizagem no Ensino de Eletromagnetismo.

A História da Ciência, no contexto escolar, não pode simplesmente ser composta por bibliografias de cientistas, mas deve privilegiar o estudo de conceitos, pessoas, instituições, movimentos e fontes dentro de seu próprio contexto e período, visando enriquecer o estudo da ciência e não limitá-la. Dessa forma, com o intuito de situar o Eletromagnetismo na História da Ciência, e ressaltarmos a importância da experiência de Oersted na unificação experimental da Eletricidade e Magnetismo, apresentando, na Figura 2.1, na página 42, uma visão esquemática da evolução temporal do Eletromagnetismo, tomando como base os nomes de alguns cientistas que marcaram a História da Física. Esta Figura indica que até 1820, antes de Oersted, a Eletricidade e o

Magnetismo estavam separados em dois ramos distintos. Os conhecimentos do ramo da Eletricidade iniciam-se na Grécia antiga, e evolui com Cardano (1550) que discute as diferenças entre as forças elétrica e magnética. Podemos salientar também, Otto von Guericke (1663) que desenvolveu a primeira máquina eletrostática, Franklin (1750) inventor do para raios. Já os conhecimentos de magnetismo, também se iniciam na Grécia antiga mas, somente no século XVI, através de William Gilbert (1600), foi desenvolvido um trabalho metódico (*De Magnete*) sobre as propriedades do magnetismo. Este mesmo trabalho também foi a primeira aplicação do método científico. Em 1820, com Oersted, acontece a unificação experimental destes ramos, consolidado em 1831 com Michel Faraday, que determina experimentalmente o fenômeno da indução magnética entre duas bobinas, formulando o princípio do transformador. A indução também é observada com o uso de um ímã permanente, obtendo-se desta forma o princípio dos motores e geradores elétricos. A unificação da Física experimental e teórica com um terceiro ramo (a óptica), acontece em 1864, com Maxwel, que apresenta as equações do eletromagnetismo, consolidando os experimentos de Faraday. Suas equações prevêem a existência das ondas eletromagnéticas, e anuncia que a própria luz é uma forma de eletromagnetismo.

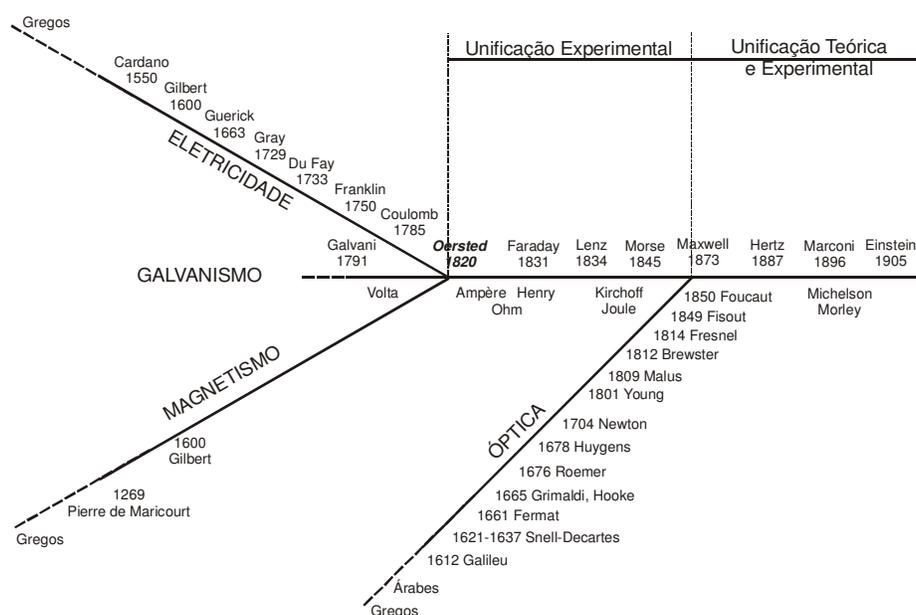


Figura 2.1: Evolução temporal do Eletromagnetismo (adaptada de ROCHA, 2002, p.189)

2.4. O efeito magnético da corrente elétrica, um primeiro obstáculo

Como colocamos anteriormente, a explanação, pelos professores de Física do Ensino Médio, da relação entre Eletricidade e Magnetismo, feita com base na experiência de Oersted, pode ser explicitada da seguinte forma: Ao se colocar um fio condutor retilíneo sobre a agulha de uma bússola, sendo que paralela a mesma – direção norte-sul – e se faz passar pelo fio uma intensa corrente elétrica, a agulha se desvia de sua posição e adquire uma direção perpendicular à direção do fio; o sentido da agulha magnética também se inverte ao inverter o sentido da corrente.

Além desta explanação, nota-se nos livros didáticos de Ensino Médio mais conhecidos a explicação desse fenômeno tal que a corrente elétrica gera⁶, em torno do fio condutor, um campo⁷ magnético cujas linhas de indução formam circunferências concêntricas ao fio. Ou seja, o campo não é nem paralelo ao fio, nem se irradia dele, mas sim circula em torno dele. Podemos constatar nos textos dos livros: *“a corrente elétrica cria um campo magnético no espaço que a circunda... no campo magnético gerado por um fio retilíneo extenso, as linhas de indução são circunferências concêntricas, cujo centro é o próprio fio.”* (Paraná, 1993, p.270); *“...as linhas de campo magnético gerado por um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica são circunferências concêntricas, contida em planos perpendiculares ao condutor e com centro no condutor.”* (Gaspar, 2000, p.213) e, *...as linhas de indução do campo magnético criado, pela corrente elétrica em um fio condutor reto e comprido são círculos com centro sobre o condutor e orientadas com um sentido que pode ser determinado pela regra de Ampère.”* (Alvarenga & Máximo, 2000, p.263). Como apresentado nos livros didáticos, o sentido de circulação do campo magnético é dado pela regra de Ampère, mais conhecida como regra da mão direita.

⁶ Apesar da expressão “a corrente gera um campo”, soar estranho pois o verbo gerar tem uma conotação biológica: quem gera antecede o ser gerado; o significado é correto, no sentido de uma ação quase simultânea de “fazer aparecer”.

⁷ O conceito de campo (tanto elétrico como magnético), foi uma dentre as muitas contribuições de Michel Faraday ao Eletromagnetismo, contudo originalmente ele propôs um conceito correlato, o de linhas de indução, observando o espectro formado por limalhas de ferro espalhadas numa folha de papel em cima de um imã.

Martins (1988), destaca que a “regra da mão direita” é um recurso mnemônico que nada explica: por que o campo magnético tem tal sentido e não o oposto? Segundo o autor, a resposta usada pela maioria dos professores é: “por convenção”. O autor complementa que, poucos professores poderão responder mais adequadamente: *“porque assim é possível explicar os fenômenos”* (Martins, 1988, p.50).

De qualquer forma, o problema não é esclarecido e, geralmente, os estudantes não conseguem compreender como uma corrente elétrica, que tem direção paralela ao fio, pode criar algo que gira em certo sentido em torno dele? Veremos que este entendimento (obstáculo) está, de certa forma, ligado ao entendimento à época de Oersted, pela comunidade científica.

Esta dúvida está enraizada nos estudantes e quase que totalmente ignorada pelos professores. Eles já se “acostumaram” com a idéia do campo magnético circulando em torno do fio, não conhecendo ou, às vezes, até renegando o processo de construção histórica deste tema.

Salienta-se desta maneira: *“antes de mais nada, é preciso entender que há de fato aqui um problema conceitual. O modo mais simples de expô-lo é utilizando a noção “intuitiva” de simetria.”*(Martins, 1988, p.50). Poderíamos dizer que, esta noção, dita “intuitiva” advém então do conhecimento comum, e assim poderíamos descrever a mesma:

Suponhamos que, antes da passagem da corrente elétrica, o fio e a bússola estão exatamente na direção norte-sul, com o fio exatamente acima da bússola. O plano vertical que contém o fio e a bússola é, aparentemente, um plano de simetria do sistema: não parece haver nada que diferencie um lado do plano do outro. Da mesma forma, quando a corrente elétrica percorre o fio, a simetria deveria se manter a mesma: não haveria, aparentemente, nenhum motivo para a agulha se desviar para um lado ou para o outro do plano. Pelas condições de simetria, apenas poderíamos esperar que a corrente produzisse algum efeito sobre a agulha magnética que a fizesse mover-se nesse mesmo plano (por exemplo, sendo atraída ou repelida pelo fio, ou tendo um de seus pólos atraído e o outro repelido). A experiência contraria a expectativa. Como entender isso? (MARTINS, 1988, p.50).

Confrontamo-nos então, com um problema insolúvel a princípio, pois uma quebra de simetria desse tipo não pode ser compreendida. Assim, o problema só terá solução, por uma alteração da nossa conceituação, da própria descrição do problema. Tentaremos então, mostrar como esse problema foi tratado ao longo da História da Ciência e, por sua vez, a importância que a História deva ter no aprendizado dos conceitos de Eletromagnetismo.

2.5. Crença e Ciência, a História da “descoberta” do Eletromagnetismo

O desenvolvimento dos conceitos científicos, em especial os conceitos do Eletromagnetismo, podem ser afetados pelas crenças dos pesquisadores? Reflexões metafísicas ou dogmas científicos podem influenciar a Ciência? A Ciência é neutra? As “descobertas” científicas podem ser casuais?

Responder as questões acima, pode nos dar um indício da construção desses conceitos e as dificuldades de serem compreendidos, pois como veremos, o Eletromagnetismo foi desenvolvido em uma época onde o ambiente era influenciado fortemente por questões filosóficas. Seria bom pensar que nada influenciaria a busca dos cientistas por fatos objetivos, contudo, a realidade freqüentemente tem outra forma. Os cientistas fazem parte da sociedade em que vivem, sendo natural verificar o papel que seu ambiente desempenha no seu trabalho, o efeito que tem sobre suas motivações e a maneira como vêem a natureza.

A leitura histórica da “descoberta” do Eletromagnetismo, nos livros textos, além de desconsiderar as convicções da época, nos leva a pensar que, num primeiro momento poder-se-ia imaginar que uma “ruptura” epistemológica ocorrera com a “descoberta” do Eletromagnetismo, isto é, a “descoberta” da interação entre Eletricidade e Magnetismo. O termo “descoberta”⁸ está propositalmente destacado, pois em razão da análise histórica explicitada por

⁸ O termo “descoberta” está fortemente relacionado com a perspectiva empirista, ou seja: “está lá na natureza” e, independe do sujeito que conhece. Poderia-se pensar neste caso, usar o termo “detectar”, que pressupõe que não basta “estar lá”, mas que “alguém” precisa tomar consciência que está lá, ou seja, não independe do sujeito.

Martins (1986), nos mostra que:

- O trabalho de Oersted é geralmente descrito como uma descoberta casual (a primeira pessoa que por sorte de colocasse uma bússola perto de um condutor ganharia a fama de descobridor do Eletromagnetismo);

- Os aspectos quantitativos do fenômeno não foram desenvolvidos por Oersted, e sim por Ampère, Biot, Savart e outros.

Martins (1986) ainda destaca que uma análise mais elaborada desse acontecimento histórico revela ser necessário muito mais do que sorte para a “descoberta” do Eletromagnetismo e que, mesmo o próprio tratamento qualitativo dado ao fenômeno por Oersted, tornou-se uma tarefa difícil devido a uma série de idéias pré-concebidas existentes. Essas idéias pré-concebidas, estavam ligadas as próprias propriedades de simetria do fenômeno que eram extremamente revolucionárias, no contexto da época e, podem traduzir-se como um primeiro obstáculo epistemológico à compreensão do fenômeno.

No intuito de identificarmos esse primeiro obstáculo, tentaremos mostrar resumidamente, os acontecimentos anteriores da “descoberta” do Eletromagnetismo e, que possam se relacionar ao mesmo, assim como a influência dos dogmas e crenças da *Filosofia da Natureza*⁹ no pensamento de Oersted. Dessa forma, atribuindo uma ordem cronológica poderemos, inicialmente, delinear de uma forma simplificada¹⁰, três acontecimentos que levaram a construção científica do trabalho de Oersted:

⁹ Baseado em Clément et alii (1994), a Filosofia da Natureza, na escola alemã: *Naturphilosophie*, é uma disciplina filosófica que se constitui a partir do diálogo com a ciência. Indagações como: existe finalidade nos fenômenos da vida? Qual é a idéia atual de matéria? Como conhecemos fenômenos aleatórios? Existia o tempo antes do Big Bang? Estes problemas não pertencem a uma ciência específica, mas entram no âmbito do que chamamos Filosofia da Natureza. Essa não é a filosofia das teorias ou da linguagem da ciência, mas a filosofia dos mesmos objetos da reflexão científica. Isaac Newton referia-se à Física como “filosofia experimental” e alguns dos pais da Mecânica Quântica, como Bohr e Heisenberg eram considerados “filósofos da natureza”. A influência desta Filosofia sobre Oersted, está centrada nas obras de Immanuel Kant, conforme Silver (2003).

¹⁰ Os precedentes da descoberta e as idéias diretoras de Oersted podem ser observadas de uma forma mais elaborada no artigo de Martins (1986) e no livro “Origens e Evolução da História da Física”, organizado por Rocha (2002).

1º) Willian Gilbert, na sua obra *De Magnete* em 1600, afirmara que a Eletricidade e o Magnetismo são duas manifestações de uma força única inerente a toda a matéria. *De Magnete* não só era influente por causa de seu assunto, mas também para o modo rigoroso no qual Gilbert descreveu suas experiências. Embora seu pensamento tenha sido influenciado fortemente pelo misticismo da época, Gilbert era também um dos pioneiros da Física experimental.

2º) Coulomb determinara, em 1785, com a sua balança eletrostática, a lei quantitativa que regula a interação entre corpos eletrizados, já que o comportamento qualitativo da eletricidade estática já tinha sido determinada pelo físico francês Charles du Fay no ano de 1733. Em consequência dos trabalhos de Coulomb, era aceito pela comunidade científica a independência dos comportamentos magnético e elétrico manifestados pela matéria, uma vez que os fluidos magnéticos jamais podiam abandonar uma barra magnética, enquanto os fluidos elétricos o podiam fazer.

3º) Oersted concluiu sua tese de Doutorado em Filosofia, em 1799, com o Título: *Dissertatio de forma metaphysices elementaris naturae externae*. Sua tese foi baseada na defesa de um livro menos conhecido de Kant, de 1786: *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (Fundamentos Metafísicos do Conhecimento). Segundo Silver (2003), Kant era interessado em Ciência, e a particularidade deste livro que impressionou Oersted foi o argumento de que apenas “experimentamos” força e que, só existem dois tipos básicos de forças. **“Esta crença, pois não era mais do que isso, na unidade das forças da natureza, iria guiar Oersted pelo resto de sua vida científica”** (Grifo nosso) (Silver, 2003, p.170).

Ao nosso ver, esta íntima convicção de Oersted, se por um lado fundamentava o conhecimento metafísico, por outro lado, lhe fornecia um forte objetivo na busca de uma relação entre as forças de origem distintas e, por conseguinte a relação entre os fenômenos eletromagnéticos.

Essa convicção, na construção do conhecimento científico, é também explicitada por Kuhn (1978), que afirma que um paradigma tem também uma

componente filosófica, ou os aspectos metafísicos do paradigma, assim, é importante ressaltar a influência da escola alemã, *Naturphilosophie*, no pensamento de Oersted. Um pressuposto da *Filosofia da Natureza* indicava, e conseqüentemente o próprio Oersted, a unidade de todas as forças. Oersted procurava estabelecer uma relação entre aqueles dois tipos de fenômenos pois, segundo Stauffer (1957), além dos motivos científicos da época, Oersted tinha motivos filosóficos na crença da união das forças naturais, acreditava em um universo orgânico, vivo e com uma alma, onde surgem as forças naturais.

“Essa concepção metafísica levou Oersted à idéia de uma unidade íntima entre eletricidade, calor magnetismo e luz. Muito antes de qualquer descoberta experimental nova, e algumas décadas antes da formulação da primeira lei da termodinâmica” (MARTINS, 1986, p.95).

A influência de Kant e da *Naturphilosophie* nas realizações científicas de Oersted, é observada em um artigo escrito, na terceira pessoa, pelo próprio, descrevendo seu experimento e publicado em 1827:

o próprio Eletromagnetismo foi descoberto em 1820, pelo Professor Hans Christian Oersted, da Universidade de Copenhague. Ao longo de sua carreira literária, ele aderiu à opinião de que os efeitos magnéticos são produzidos pelas mesmas potências que os elétricos. Ele não foi levado a isso tanto pelas razões comumente alegadas para esta opinião, senão pelo princípio filosófico de que todos os fenômenos são produzidos pela mesma potência original.(OERSTED apud SILVER, 2003, p.171)

Estabelecida esta visão filosófica de Oersted, voltamos a expor em ordem cronológica, os acontecimentos que o levaram a “descoberta” do Eletromagnetismo.

Oersted iniciou uma série de viagens à Alemanha e à França, em 1801, no decurso das quais teve a oportunidade de conhecer o filósofo e historiador Karl Ritter com quem conseguiu demonstrar a existência de relações entre os fenômenos elétricos, o calor, a luz e os efeitos químicos. Depararam-se, no entanto, com algumas dificuldades na tentativa de descobrir uma eventual relação entre a Eletricidade e o Magnetismo, explicitamente em relação a geração de uma corrente elétrica.

Regressando à Dinamarca em janeiro de 1804, Oersted continua a desenvolver a sua investigação em Física e Química. No seu trabalho *Pesquisa sobre a Identidade das Forças Elétricas e Químicas*, publicado em 1812, admite a hipótese dos fenômenos magnéticos serem produzidos pela eletricidade.

No inverno de 1819-20, quando proferia um conjunto de conferências sobre Eletricidade, Magnetismo e Galvanismo, observou, perante a audiência, o efeito de uma corrente elétrica sobre uma agulha magnética. Deve-se ressaltar aqui que, ao contrário do que muitas vezes se afirma, este acontecimento não terá sido meramente accidental, como enfatizado erroneamente na maioria dos livros didáticos - um folclore aceito por muitos autores - já que há alguns anos a sua pesquisa estava orientada nesse sentido, como vimos anteriormente.

Em 21 de Julho de 1820, Oersted anunciou a sua descoberta num artigo de quatro páginas em latim, intitulado “*Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*” (Experiências sobre os efeitos de um conflito elétrico em uma agulha magnética). Neste artigo¹¹ são descritas algumas das suas experiências, bem como algumas regras para determinar a direção da força sobre o pólo magnético.

Segundo Oersted, quando se põem as duas extremidades de uma pilha galvânica em contacto por meio de um fio metálico, produz-se um “conflito elétrico” no condutor e no espaço que o circunda, o que provoca o desvio da agulha magnética.

Outro aspecto que chama a atenção é que *o pólo situado debaixo do ponto pelo qual entra a eletricidade negativa se move para Leste e o pólo situado por cima do ponto pelo qual entra a eletricidade negativa se move para Oeste*. Esta observação permitiu-lhe concluir que o “conflito elétrico” deveria descrever círculos coaxiais, sendo o eixo comum destes círculos coincidente com o próprio fio condutor da eletricidade. Para além deste movimento em

¹¹ O artigo original, traduzido por Roberto Martins, pode ser encontrado nos Cadernos de História e Filosofia da Ciência. Vol.10, p.115-122, 1986.

círculos, admitiu igualmente um movimento progressivo, ao longo do condutor elétrico, resultando da associação daqueles dois movimentos uma linha em espiral, tais quais mostrados na Figura 2.2.

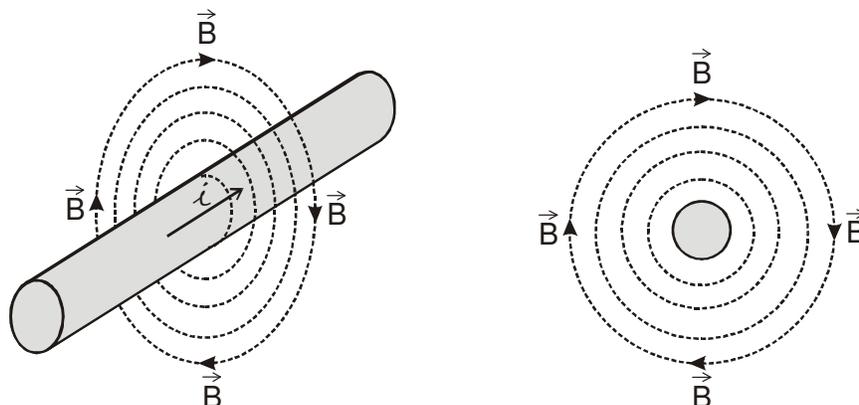


Figura 2.2: Apresenta a interpretação de Oersted (hoje aceita), onde a corrente elétrica que percorre um fio condutor produz um campo magnético que circula em torno do mesmo. (adaptado de Martins, 1986, p.104)

Relevando a importância histórica de tal feito, transcrevemos a descrição da “descoberta” do Eletromagnetismo feita pelo próprio Oersted na terceira pessoa em outro artigo de 1827, publicado na Enciclopédia de Edinburgh:

No inverno de 1819-1820, ele (Oersted) apresentou um curso de conferência sobre eletricidade, galvanismo, e magnetismo, diante de uma audiência previamente familiarizada com os princípios da filosofia natural. Ao preparar a conferência na qual versaria sobre a analogia entre magnetismo e eletricidade, conjecturou que, se fosse possível produzir algum efeito magnético pela eletricidade, isto não poderia ocorrer na direção da corrente, pois tal havia sido freqüentemente tentado em vão, mas que deveria ser produzido por uma ação lateral...

Assim como os efeitos luminosos e caloríficos saem de em condutor em todas as direções, quando este transmite, uma grande quantidade de eletricidade, assim imaginou ser possível que o efeito magnético se irradiasse de forma semelhante. As observações registradas acima, de efeitos magnéticos produzidos por raios em agulhas que não foram diretamente atingidas, confirmaram-no em sua opinião. Ele estava longe de esperar um grande efeito magnético da pilha galvânica; supôs que poderia ser exigido um poder suficiente para tornar incandescente o fio condutor.

O plano da primeira experiência consistia em fazer a corrente de um pequeno aparelho galvânico de frascos, comumente usado em suas conferências,

passar através de um fio de platina muito fino, colocado sobre uma bússola coberta com vidro. A experiência foi preparada, mas como acidentalmente ele foi impedido de ensaiá-la antes da aula, planejou adiá-la para outra oportunidade; no entanto durante a conferência, pareceu-lhe mais forte a probabilidade de seu sucesso, e assim realizou a primeira experiência na presença da audiência. A agulha magnética, embora fechada em sua caixa, foi perturbada; mas, como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito irregular, antes da descoberta de sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público. Pode parecer estranho que o descobridor não tenha realizado mais experiências sobre o assunto durante três meses; ele próprio acha difícil concebê-lo; mas pode ter sido levado a postergar suas pesquisas até uma época mais conveniente, pela extrema fraqueza e aparente confusão dos fenômenos na primeira experiência, e pela lembrança de numerosos erros cometidos nesse assunto por filósofos anteriores (particularmente seu amigo Ritter) e porque tal assunto tem o direito de ser tratado com atenção e cuidado.

No mês de julho de 1820, ele novamente retomou a experiência, utilizando um aparelho galvânico muito mais poderoso. O sucesso foi agora evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu que condutores de um diâmetro maior proporcionam um maior efeito e então descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, a lei fundamental do Eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela. (OERSTED apud ROCHA, 2002, p.248)

É importante ressaltar a observação de Oersted que, enquanto não havia nenhuma corrente passando pelo fio, a agulha magnética continuava apontando para o Norte, mas, quando a corrente era ligada, ela mudava bruscamente de direção, só ficando em repouso quando a orientação era perpendicular ao fio.

Esse resultado teve um forte impacto, mas muitos não acreditaram nos relatos de Oersted, pois contrariava a princípio os padrões newtonianos de força. Tal observação sugeria, que aparentemente a força não agiria na reta unindo os dois corpos (agulha magnética e fio condutor). Desta forma, produzia uma falsa convicção de que a ação do fio sobre a agulha da bússola violaria a 3ª Lei de Newton. Esse falso paradoxo atraiu a atenção para o fenômeno de deflexão da agulha, em cuja elucidação, pode ser dita que as forças realmente estão na linha prevista por Newton, mas atuam na forma de um torque.

As experiências realizadas por Oersted, utilizando um instrumento de concepção relativamente simples, foram suficientes para fazer abalar as estruturas da Mecânica Newtoniana. A natureza desta força magnética era distinta das forças conhecidas até então. Não se tratava, certamente, de uma força central, já que não estava orientada segundo uma linha reta passando pelos dois pontos em interação, como acontece no caso das forças gravitacionais, das forças de interação entre cargas elétricas em repouso ou entre os dois pólos de um ímã. Esta experiência colocou, por conseguinte, um desafio à comunidade científica da época.

Após a divulgação do artigo de Oersted, a comunidade científica, principalmente na França, tem as primeiras reações significativas a descoberta. Segundo Martins (1986), havia contestações e incredulidade de vários físicos da época, como Arago, Pictet, de la Rive, Prévost, De Saussure, Marcet, de Candolle e outros. Sobre o novo fenômeno, Ampère diria: *“As pessoas o rejeitaram... Todos decidiram que aquilo era impossível.”* (Caneva apud Martins, 1986, p.102).

Por outro lado, Souza Cruz (2005) assinala que, ao tomar conhecimento do artigo de Oersted, Faraday percebeu a relevância da relação entre a Eletricidade e o Magnetismo e a sua concepção de natureza. Faraday repetiu quase todos os experimentos realizados por outros cientistas no intuito de analisar cuidadosamente as diferentes teorias e interpretações. Tal revisão foi publicada em um artigo intitulado "Resumo histórico do Eletromagnetismo", sendo o ponto inicial das contribuições de Faraday ao Eletromagnetismo.

Ao discernirmos sobre a razão dessa incredulidade, é que percebemos o verdadeiro obstáculo epistemológico do fenômeno, ou seja, não se julgava impossível descobrir uma relação entre eletricidade e magnetismo, pois praticamente toda a comunidade científica esperava esta descoberta, mas sim a enorme dificuldade em aceitar a descoberta, o campo magnético circular, em razão da simetria do fenômeno.

A longa busca pela relação entre a eletricidade e o magnetismo foi retardada, principalmente, porque ninguém podia esperar, "a priori", a produção de um

campo magnético circulando em torno do fio. Quando, por fim, Oersted observou a interação entre a corrente e a bússola, o fenômeno lhe pareceu inicialmente irregular. Apenas a repetição controlada e cuidadosa do experimento acabou por conduzi-lo à idéia de um campo circular (MARTINS, 1988, p.51).

Mesmo, dando-se crédito a Oersted, Martins (1986), coloca que se tentou continuar usando a simetria dual (Figura 2.3). Martins ainda comenta que, na época era natural estabelecer-se uma analogia entre os pólos norte e sul de um ímã e cargas elétricas positivas e negativas: pólos (e cargas) de mesmo tipo se repelem, e de tipos opostos se atraem, com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância, como havia sido mostrado (nos dois casos) por Coulomb, em 1795. Isso levava a assemelhar um ímã a um dipolo elétrico e a procurar-se não só interações entre os mesmos, mas também gerar com um deles os efeitos produzidos pelo outro.

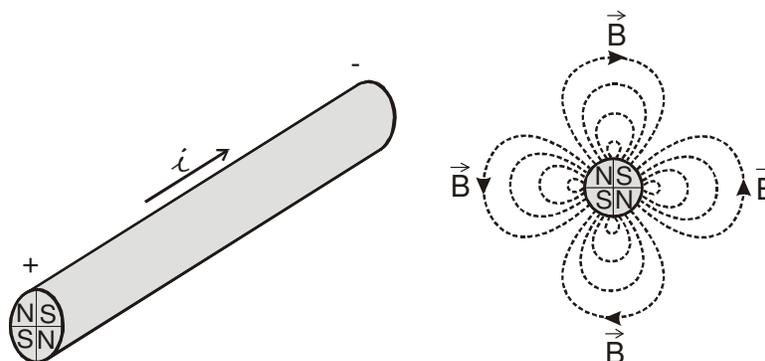


Figura 2.3: Apresenta a concepção de Berzelius e outros autores, supondo que a corrente elétrica produzia no fio, dois ou mais pares de pólos magnéticos, produzindo acima e abaixo do fio, campos que pareciam circular em torno do mesmo, mas em outros pontos o sentido era contrário ao modelo de Oersted. (adaptado de Martins, 1986, p.104)

Vemos então que, no início do século XIX, além das crenças filosóficas, a comunidade científica concordava que existia uma relação entre Eletricidade e Magnetismo, contudo não sabia exatamente qual era esta relação, portanto a realização de experiências, como própria a experiência de Oersted, procurando mostrar esta relação, não se prendiam a um encadeamento pragmático. Todavia esta procura não era totalmente às escuras, devido exatamente às semelhanças entre as simetrias dos fenômenos elétricos e magnéticos.

Ressaltamos aqui a crítica que Bachelard reserva às analogias, metáforas e imagens na construção do conceito científico ou no ensino das Ciências. Na perspectiva bachelardiana, as imagens e analogias tentam manter a continuidade entre o mundo conhecido e o desconhecido, entre o conhecimento comum e o conhecimento científico, impedem a abstração e mascaram a ruptura que o mesmo propõe.

Prender-se acriticamente à novidade ou persistir num sistema ultrapassado, são precisamente duas maneiras diferentes de recusar o duplo trabalho psicológico de assimilação dos conhecimentos científicos e de estruturação do conhecimento científico. (BACHELARD, 1990, p.94)

Podemos também identificar um outro obstáculo epistemológico, tão ou mais importante que o discutido anteriormente, na compreensão do fenômeno. Na Figura 2.2, vista anteriormente na página 50, as linhas de indução magnética são circulares em torno do fio, isso significa dizer que uma agulha magnética estará sempre tangente à linha que forma um círculo. Esse resultado foi surpreendente para a época. *“A tradição newtoniana afirmava que as forças deveriam estar sempre ao longo da linha reta que une dois corpos, como no caso da gravidade. Isto é, segundo os padrões newtonianos, a agulha da bússola deveria estar paralela a uma linha reta que sai radialmente do fio”* (Souza Cruz 2005, p.110). Desta forma, a força aparentemente circular ia contra os padrões da física newtoniana.

Mesmo inicialmente incrédulo quanto a forma do campo magnético em torno de um fio, Arago, lembrando-se da experiência escolar já realizada na época, em que partículas de limalha de ferro sobre uma folha de papel se distribuem segundo um padrão quando um ímã é colocado sob o papel, *“passou uma corrente por um arame que furava a folha de papel sobre a qual havia sido derramada limalha. Os pedaços de limalha se alinharam, produzindo círculos concêntricos ao redor do fio”* (Silver, 2003, p.145).

O impacto desta conclusão de que o campo era circular em torno do fio foi muito forte, tal que grandes nomes da Física duvidaram do resultado, se traduzindo aqui ao nosso ver, como um obstáculo epistemológico. Souza Cruz (2005), acrescenta que Arago apresentou os experimentos de Oersted à

Academia de Ciências da França em setembro de 1820, chamando a atenção de um dos cientistas mais brilhantes de sua época, André Marie Ampère. Ampère além de ser um hábil experimental era também um teórico poderoso, com uma sólida base matemática e uma forte convicção newtoniana.

Também segundo Martins (1988), vários trabalhos de outros autores seguiram-se a descoberta de Oersted, contudo um dos mais importantes foi idealizado por Ampère: achando absurda a teoria de Oersted, este procurou reduzir o Eletromagnetismo à Eletrodinâmica, levando o fenômeno básico à interação entre correntes elétricas e explicando o magnetismo como efeito secundário de correntes circulares. Na sua opinião, a vantagem dessa abordagem é que as forças entre correntes elétricas são de simples atração e repulsão, não aparecendo a quebra de simetria, pois o próprio ímã se torna sede de um fenômeno de rotação que permite explicar o sentido do deslocamento da bússola. *“Guiado pelos princípios da filosofia newtoniana, reduzi o fenômeno observado por Oersted a forças que agem sempre ao longo da reta que une as duas partículas entre as quais são exercidas essas forças”* (AMPÈRE apud MARTINS, 1986, p.106).

Na semana seguinte a apresentação de Arago, *“Ampère já apresentava uma Memória relativa aos novos fenômenos galvânico-elétricos onde descrevia um aparelho que utilizava o efeito eletromagnético para a medida de corrente elétrica, atribuindo-lhe o nome de galvanômetro”*. (Rocha, 2002, p.251). A importância do galvanômetro transcende a sua capacidade de detectar pequenas correntes: inaugura a medida quantitativa no campo da eletrodinâmica.

No eixo teórico, Ampère desenvolveria, com surpreendente celeridade, uma teoria que explicava o experimento de Oersted e que foi a primeira formulação no campo da Eletricidade e do Magnetismo, feita de forma matemática precisa. Uma de suas jóias é a famosa Lei de Ampère, ainda hoje é um dos pilares da Física.

É interessante destacar, a observação de Martins (1988) de um fato em geral desconhecido: o de que Ampère procurou banir da Física o conceito de

campo magnético sem, entretanto, ser bem sucedido. Segundo o autor, o conceito de campo reaparece com Maxwell, que o adotou de Faraday, que, por sua vez, era ardoroso admirador e defensor de Oersted.

O estabelecimento de uma nova conceituação deste fenômeno pôde ser enaltecido por Bachelard:

Se se consente em admitir que em sua essência, o pensamento científico é uma objetivação, deve-se concluir que as retificações e as extensões são dele as verdadeiras molas. É aí que é escrita a história dinâmica do pensamento. É no momento em que o conceito muda de sentido que ele tem mais sentido, é então que ele é, certissimamente, um acontecimento de conceitualização. (BACHELARD, 1978, p.96)

Foge ao objetivo deste trabalho o tratamento dado a questão da simetria do campo magnético, por exigir um tratamento matemático avançado. Martins (1988), destaca que o simples abandono do conceito de campo magnético não é aceitável para nós, que fomos educados na tradição de Maxwell, ressalta que o problema das quebras de simetria do Eletromagnetismo foi posteriormente estudado por outros autores¹².

Voltamos a refletir sobre a inutilidade da separação na História da Ciência entre o conhecimento teórico e aplicado, entre os aparelhos e as matemáticas. Percorreu-se um longo caminho e acumularam-se vários conhecimentos anteriores necessários para que, por exemplo, Oersted, Ampère e Faraday pudessem realizar as suas contribuições, de cunho experimental ou abstrato, mas de grandes conseqüências práticas.

Encerrada nossa discussão sobre uma parte da História do Eletromagnetismo, reforçamos a importância dessa História, segundo o próprio Bachelard, para o desenvolvimento científico, e ao nosso ver, a importância na construção dos conceitos de Eletromagnetismo no ambiente escolar. Assim tentaremos fazer uma ponte entre o desenvolvimento histórico destas idéias científicas e as concepções manifestas pelas estudantes sobre as mesmas

¹² Um estudo mais aprofundado sobre a questão da simetria, pode ser observado no trabalho de Martins (1988).

idéias. Para isto, nos ateremos as concepções de Piaget, que poderão estabelecer relações entre a natureza do conhecimento científico e de sua produção com a aprendizagem das ciências.

2.6. Piaget e a Equilibração Cognitiva

Piaget, em suas pesquisas científicas procurou demonstrar a construção dos processos mentais. Considerou que estudando a maneira como as crianças constroem as noções básicas do conhecimento poderia compreender a origem e a evolução do conhecimento humano, desta forma, trabalhou com uma concepção de desenvolvimento envolvendo um processo contínuo de trocas entre os organismos vivos e o meio ambiente.

Piaget procura apresentar o processo de aquisição de novos conhecimentos como um processo de *equilibração cognitiva* que, de certo modo, obriga os seres vivos a assimilar as informações oriundas do ambiente externo acomodando-as em estruturas mentais que são construídas exatamente para refletir este ambiente.

Desta forma a base da teoria de Piaget é a noção de equilíbrio e *equilibração*. Todo ser vivo procura manter um estado de equilíbrio (adaptação) com o meio. Agindo de forma a superar perturbações na relação que se estabelece com o meio.

Pode-se visualizar o processo de equilibração como um processo fisicamente necessário. Wazlawick (1996) cita como exemplo, a equilibração que faz com que os rios corram em direção ao mar e formem cachoeiras. Esta relação pode não ser clara se está observando somente o micro-sistema, rio e suas corredeiras, porém se pensarmos no macro-sistema, todo o planeta funciona como um sistema que tende a entrar em equilíbrio físico.

Fisicamente, a aceleração da gravidade força a Terra a se transformar em uma esfera perfeita, deste modo, se uma certa quantidade de água está mais longe do centro da Terra do que outra quantidade de água e as duas se comunicam, então a necessidade do equilíbrio fará com que a água que está mais longe se aproxime do centro, portanto, desta forma os rios correm.

Porém, outros fatores de equilíbrio aliados ao sistema caótico que é o planeta Terra levam água para pontos mais altos (pela chuva). Esta combinação de fatores faz com que o nível das águas não entre nunca em equilíbrio. O desequilíbrio é permanente, mas mesmo assim é uma necessidade física e continuamente os rios tentam alcançar este estado de equilíbrio embora nunca consigam. Este processo de equilibração e desequilibração contínua é que faz o planeta viver.

A mesma idéia pode ser aplicada a sistemas cognitivos. Há uma necessidade cognitiva de equilíbrio nos seres vivos, pois deste equilíbrio depende a sobrevivência deles. Assim, quanto mais o indivíduo conhece seu meio ambiente maiores são as chances em relação a outros indivíduos com menos informação.

Para Piaget (1976) o desenvolvimento cognitivo do indivíduo ocorre através de constantes adaptações. A adaptação possui dois componentes fundamentais: assimilação e acomodação: o processo de assimilação, consiste na incorporação, pelo indivíduo, de um elemento do meio exterior às suas estruturas, que age sobre ele aplicando experiências anteriores ou esquemas¹³. Já no processo de acomodação, há necessidade em que se acha a assimilação de levar em conta as particularidades próprias dos elementos a assimilar, ou seja, o indivíduo se modifica a fim de se ajustar às diferenças impostas pelo meio.

No livro "A Equilibração das Estruturas Cognitivas" Piaget (1976) faz uma comparação entre as formas de equilíbrio da Física, da Biologia e dos sistemas cognitivos. Os *equilíbrios cognitivos* diferem dos equilíbrios da Física, os quais se conservam sem modificações, salvo sob a ação de um agente perturbador externo. Mesmo assim, no caso de uma perturbação, o equilíbrio físico apenas volta ao estado de equilíbrio anterior.

¹³ Conceito de esquema: uma ação que se manifesta com ordem e coerência. É um padrão de comportamento. Na concepção Piagetiana, a aprendizagem se processa por meio da assimilação e da acomodação. Entende-se por acomodação toda modificação dos esquemas de assimilação. Assimilação é a integração de elementos novos a estrutura ou esquemas já existentes.

Um exemplo, apresentado por Wazlawick (1996), de equilíbrio físico característico é o do equilíbrio termodinâmico, a chamada Lei Zero da Termodinâmica, o qual faz com que dois objetos com temperaturas diferentes, estando em contato, acabem ficando com a mesma temperatura. Os equilíbrios termodinâmicos consistem, desta forma, em estados de repouso, que se originam após a destruição de todas as estruturas anteriores, sendo assim estacionários.

Já no caso dos sistemas cognitivos as reequilibrações podem levar a estados de equilíbrio que pode ser considerado como estados de melhor qualidade que o anterior, ou seja, a assimilação e acomodação, são pontos de partida para restabelecer o equilíbrio saltando assim de um nível inferior para outro superior. O nível superior servirá de partida para novas assimilações.

O equilíbrio consiste num estado de constantes trocas. O equilíbrio é possível porque as trocas entre indivíduo e objeto garantem a conservação do sistema, e um é consequência do outro. O indivíduo assimila características dos objetos, isto é, age sobre eles transformando-os em função dos esquemas de que dispõe.

Piaget (1976) classifica as diversas formas de equilíbrio e as razões dos desequilíbrios. Podem ser distinguidos três tipos de equilibração:

1) Equilibração entre o sujeito e os objetos.

Observa-se a equilibração entre a assimilação dos objetos aos *esquemas* de ações e a acomodação destes últimos aos objetos. Nesta equilibração já há um início de assimilação mútua na medida em que o objeto é necessário para o desenvolvimento da ação e é o esquema de assimilação que dá significado ao objeto.

2) Equilibração nas interações entre os subsistemas (parte-parte).

Neste caso Piaget assinala que esta equilibração não ocorre desde a partida, mas sim ocorrerá progressivamente na medida que aconteçam as assimilações mútuas entre objeto e sujeito. O fato de que a rapidez

de construção de dois subsistemas não seja iguais faz com que apareçam os desequilíbrios e a posterior equilibração.

A diferença em relação ao primeiro tipo é de que naquele caso a acomodação estava sujeita a múltiplas dificuldades impostas pelos objetos, e nesse caso a assimilação de dois subsistemas válidos, cedo ou tarde, acabará ocorrendo, levando pois a uma conservação recíproca.

3) Equilibração das interações que une os subsistemas a uma totalidade que os engloba (parte-todo).

Esta é a equilibração oriunda da diferenciação e da integração, ou seja, das relações entre um subsistema e a totalidade que o contém. Aqui se acrescenta uma hierarquia ao processo de equilibração pois nesse caso está-se um nível acima das relações entre colaterais. Neste caso, a integração no todo fica por conta da assimilação e a diferenciação provocará acomodações.

O que há de comum entre os três tipos descritos é justamente o equilíbrio entre assimilação e acomodação.

Finalizando, é importante salientar o papel do desequilíbrio, pois é claro que o mesmo é fundamental para o processo de equilibração, já que são estes que ocasionam ou que desencadeiam os avanços próprios das reequilibrações específicas. Observa-se que a importância de um desequilíbrio deve ser medida pela possibilidade de superação que o mesmo apresenta, donde não é certo afirmar que eles sejam a motivo real do progresso, uma vez que o avanço só ocorre quando há a reequilibração.

Segundo Piaget (1976), os processos de equilibração e a reequilibração, baseiam-se nas *regulações*. A acomodação de um esquema a uma ação parcialmente fracassada pode se dar através de uma regulação.

Do ponto de vista do indivíduo, uma regulação pode ser entendida como uma reação a uma perturbação, ou a um obstáculo que se opõe a uma assimilação. Para Piaget, a regulação é a "*retomada de uma ação modificada*

pelos resultados alcançados anteriormente". Ou seja, o processo de regulação acontece quando uma ação é executada mas não atinge seu objetivo completamente, na Educação usa-se o termo "feedback". O indivíduo deve determinar qual correção a fazer na ação e executá-la novamente. A partir desta nova execução da ação, o indivíduo pode avaliar se sua regulação aumentou ou diminuiu o erro. Se o erro diminuiu, o indivíduo pode tentar continuar regulando a ação nesta direção, em caso negativo, deve tentar outra possibilidade.

Um exemplo típico de ação com regulação, segundo Wazlawick (1996) é o de uma pessoa que tenta acertar um alvo com arco e flecha. A cada operação frustrada uma correção é feita: mais para cima, mais para a esquerda, etc., até que o mecanismo preditivo das regulações se incorpora no sistema sensorio-motor do indivíduo e elas se tornam quase automáticas para esta atividade.

As perturbações e as possíveis regulações originadas, segundo Ramos (1996) no pensamento piagetiano, podem ser divididas em dois grandes grupos: Feedbacks negativos e positivos. Feedbacks negativos: *fracassos, erros ou contradições* são a causa destas perturbações que se originam da resistência à acomodação em qualquer dos níveis citados no tópico anterior. Feedbacks positivos: estes consistem das *lacunas* que deixam as necessidades insatisfeitas e se traduzem pela insuficiente alimentação de um esquema; aqui se tem na verdade a ausência de um objeto ou das condições necessárias para a conclusão de uma ação em andamento, ou ainda de um conhecimento indispensável para a solução de um problema. Neste segundo caso por se tratar de um esquema já ativado a regulação correspondente comportará um prolongamento da atividade assimiladora de tal esquema.

Ainda segundo Ramos (1996), é importante salientar que os reforços, caracterizados pelos feedbacks positivos, e as correções que comportam os feedbacks negativos são constantemente complementares na formação das condutas, mesmo as pouco complexas. O processo de regulação é iniciado a partir da observação de ações mal sucedidas, ou seja, a partir da ocorrência de perturbações. Deve-se enfatizar que as regulações não são repetições da

ação, como acontece muitas vezes com as crianças. É necessário que a ação seja alterada antes de ser realizada novamente.

O mau funcionamento de um dos componentes de um esquema, quais sejam: observável e ação ou objetivo, podem causar a falha deste esquema, e pode se dar, posto por Wazlawick (1996), em razão de: a) algum aspecto pode não estar sendo considerado. b) algum aspecto irrelevante pode estar sendo considerado indevidamente. c) algum aspecto pode estar sendo considerado com valor incorreto. Os dois itens iniciais mostram as lacunas ou excessos de dados nos observáveis, ações e objetivos. O item final mostra o valor associado aos aspectos que devem ser corretamente considerados.

Por exemplo, pode haver um esquema que faça um aluno a colocar uma tela (filtro) no monitor de um PC para proteger os olhos. O objetivo é proteger os olhos. O observável é a intensidade da luz emitida pelo monitor e a ação é adaptar a tela ao monitor. Se o observável estiver mal regulado, o aluno poderá colocar o filtro quando ainda há pouca luz, ou poderá no caso inverso, retardar a colocação até que a luz já tenha causado danos aos olhos. Felizmente, antes que aconteça algum dano, normalmente entram em campo as regulações, que percebem que um esquema não está sendo aplicado ou que está sendo aplicado mas não está atingindo seus objetivos. Estas regulações vão então modificar o esquema para que ele passe a funcionar melhor.

Ao mencionarmos algo sobre o conhecimento físico, muitos alunos podem pensar em uma série de símbolos, equações matemáticas e gráficos, no entanto, na Física, o professor pode ou mesmo deve trabalhar também com as experiências vivenciais e cotidianas do aluno. Esse trabalho pode ser realizado no próprio ambiente onde se lida com fenômenos da natureza, e onde o aluno traz consigo a sua experiência.

Contudo, o papel do professor não é simplesmente de fazer o aluno realizar algo, em nome de uma “pedagogia ativa”. Mas sim, provocar desequilíbrios no sentido piagetiano do termo; fazer como que o aluno compreenda como realizou tais tarefas através de uma ação reequilibradora, baseada em reflexões, análise dos procedimentos e rediscussão dos erros. Isto

irá favorecer o desenvolvimento de uma inteligência operatória caracterizada pelos processos do que Piaget (1995) chamou de *abstração* e *reflexão*.

O fato de o aluno realizar concretamente determinadas tarefas, trabalhos ou experiências não significa que ele tenha avançado em termos de conhecimento; neste caso, ele apenas possui um conhecimento prático que não é o suficiente para se dizer que o aluno aprendeu algo ou construiu um conhecimento.

O conhecimento prático é importante, mas é uma *ação*, a qual serve de apoio a uma outra ação mais complexa. Tal conhecimento serve de apoio ao processo de abstração; uma aquisição necessária que se constitui a matéria prima do conhecimento. Dessa forma, Piaget (1995) destaca dois tipos de abstração¹⁴: a empírica e a reflexionante.

Designaremos por **abstração empírica** a que se apóia sobre os objetos físicos ou sobre os aspectos materiais da própria ação, tais como empurrões, movimentos, etc. Observemos que mesmo sob suas formas mais elementares, este tipo de abstração não poderia consistir em puras “leituras”, pois para abstrair a partir de um objeto qualquer propriedade, como o seu peso ou a sua cor, é necessário utilizar de saída instrumentos de assimilação (estabelecimento de relações, significações, etc.), oriundos de “esquemas” sensório motores ou conceituais não fornecidos por esse objeto, porém construído anteriormente pelo sujeito.(PIAGET, 1995, p.5)

A **abstração reflexionante**, ao contrário da abstração empírica, apóia-se sobre todas as atividades cognitivas do sujeito (esquemas ou coordenações de ações, operações, estruturas, etc.), para delas retirar certos caracteres e utilizá-los para outras finalidades (novas adaptações, novos problemas, etc.) (PIAGET, 1995, p.7).

A relação entre esses dois tipos de abstrações se constitui na própria atividade mental: uma ação progressiva e interna, elaborada mentalmente, isto é, uma ação que tende a uma progressiva interiorização.

¹⁴ Abstração vem do latim “*abs-trahere*”, que significa retirar, arrancar, extrair algo de alguma coisa. Não se trata de dar conta de uma totalidade, mas apenas de algumas características, situando, ao mesmo tempo, o limite e a progressão do conhecimento.

Em relação ao meio, o mesmo gera abstração empírica quando for observável, isto é, originários de objetos ou ações. Se o meio estiver na classe dos não-observáveis gera abstração reflexionante que é o resultado de coordenações mentais internas. Na Física, por exemplo, as formas dos corpos, os campos no espaço e, principalmente, os vetores constituem este meio.

A aquisição do conhecimento, segundo Becker (1993), está ligada ao que o sujeito pode assimilar dos observáveis ou dos não-observáveis num determinado momento. A assimilação vai depender da síntese das experiências anteriores (esquemas) - daí a importância das experiências anteriores dos alunos, fundamental para que haja abstração. Essas experiências cotidianas anteriores modificam a partir do momento em que haja acomodação. Assim que um esquema torna-se insuficiente, e não consegue chegar às transformações do real, o sujeito provoca e produz transformações nos esquemas que não funcionaram a contento.

A partir disso, o sujeito está aberto a novas abstrações empíricas ou reflexionantes. Se ocorrerem novas dificuldades surgem novas respostas só que em um novo nível. Para o autor, as respostas que podem ser ações ou condutas vão depender da necessidade, ou da motivação vivida no momento. Estas constituem o aspecto cognitivo ou afetivo da ação.

O grau de assimilação e de acomodação são conseqüências da intensidade da necessidade. Portanto se é exigida uma tarefa prática, o grau de assimilação apresenta-se de uma forma. Se for exigida a mesma tarefa prática e uma crítica sobre sua execução, este último fator fará com que a assimilação e acomodação apresentem-se muito diferente das anteriores.

Conclui-se que a abstração será maior ou menor dependendo do contexto onde o indivíduo esteja inserido. O contexto serve para alimentar as experiências anteriores ou os esquemas. Portanto, a preocupação em apresentar os conteúdos de Física de tal forma que sejam associados ao cotidiano do aluno deve ser constante.

A ação torna-se fundamental no processo pedagógico. Para o autor, quando não há condições de ação torna-se inviável a experiência, disso conclui-se que é necessária a ação para que possa haver mudanças de esquemas, esta ação pode estar relacionada com a realização de algo concreto e ao mesmo tempo interpretativo.

O conhecimento prático constitui a matéria prima do conhecimento. É sobre ele que se faz a abstração e Piaget dá importância para a abstração ou a tomada de consciência que é uma ação eminentemente e progressivamente interna.

Estes aspectos levam-nos a pensar em um trabalho didático, onde se relaciona, o concreto, o abstrato e o prático, porém não basta só a reprodução de experimentos é preciso também que haja a formalização de novos conceitos, e certamente através da abstração poder-se-á gerar críticas e questionamentos.

A abstração reflexionante, apesar de predominante sobre a empírica, não aparece única, dominando, necessita constantemente do "sentir" perceptivo. Portanto o conhecimento tem origem na abstração reflexionante apoiada na prática, condição necessária da teoria, mas, de modo algum condição suficiente.

Ao considerar as estruturas cognitivas como sendo objeto de uma construção gradual, Piaget (2002) defende a existência de *estágios de desenvolvimento*, sendo talvez esse um dos pontos mais conhecidos e divulgados de seu pensamento. Piaget determina assim, que a inteligência é construída na medida que novos patamares de equilíbrio adaptativo são alcançados, desta maneira classificou os estágios de desenvolvimento da inteligência, que se efetua de modo sucessivo, segundo a lógica das construções mentais, conforme se ilustra resumidamente no Quadro 2.1, na próxima página 66.

ESTÁGIO	EQUILÍBRIO	LÓGICA ORGANIZADORA
Sensório-motor	18 meses até 2 anos	Não há lógica
Operatório concreto	Preparação: entre 2 e 7 anos Equilíbrio: entre 7 e 11 anos	Lógica das relações e das transformações sobre o material visível (objetos presentes)
Operatório formal	Cerca de 16 anos	Lógica desarticulada do concreto

Quadro 2.1: Estágios de desenvolvimento da inteligência (Gaonach'h & Golder, 1995).

Devemos observar que tais estágios cognitivos têm uma propriedade essencial: aparecem numa ordem fixa de sucessão, sendo cada período necessário à constituição daquele que vem a seguir.

Os conceitos de Eletromagnetismo, explicitamente o conceito de campo eletromagnético, exigem por parte do aluno, um grau significativo de abstração, portanto o desenvolvimento destes conceitos situa-se no estágio operatório formal. Portanto, o trabalho com estes conceitos nas últimas séries do Ensino Médio ocorre no momento apropriado.

O avanço, por parte desses alunos, dos níveis de reflexão empírica para reflexionante, implica na possibilidade de explicar pela fala, pela escrita, pelo desenho ou outro meio, o que ele fez no nível prático, mas sem voltar à situação prática (pelo menos durante a explicação). Nesta perspectiva, o professor estaria criando uma nova situação, desafiadora. Ele estaria propondo uma descrição pelo aluno da tarefa prática que ele realizou, mas agora usando apenas processos internos, isto é, fazendo uso de abstração, tanto empírica como reflexionante.

Desta forma, considerando que os alunos possam trabalhar concretamente com atividades experimentais, é importante que o professor solicite que cada aluno explique, esquematize ou desenhe o que fez, de modo que os alunos possam, realizar tais procedimentos, apropriar-se do mecanismo da sua própria ação e, posteriormente, tomar consciência para alcançar o nível de generalização e de relações.

Um exemplo prático, é o caso da montagem e desmontagem de objetos, como um motor elétrico simples e o funcionamento do mesmo. Se a cada tarefa o professor pede que cada um explique o que fez, os alunos poderão tomar consciência (apropriar-se do mecanismo da própria ação) e chegar a uma generalização (compreensão dos mecanismos comuns entre os motores); poderão até teorizar sobre transmissão de força, rotações por minuto, circuito elétrico, intensidade de corrente elétrica, resistência dos materiais, e, se desafiados, projetar um aparelho com características inéditas. Em outras palavras, é preciso criar condições para que os alunos ultrapassem o plano do real (objetos manuseados) e possam projetar-se ao plano dos possíveis (novas idéias, novas realizações).

Ao final deste tópico, não poderíamos deixar de elucidar na teoria piagetina, a importância do momento do erro, pois é desencadeador do processo de reflexão, revisão das hipóteses e das ações já exercidas; busca de novas formas de agir, de novas informações, de novos caminhos; estímulo à exploração e à experimentação. Assim, o tratamento do erro é um fator positivo que favorece o processo de abstração e supera a idéia de fracasso, dando lugar ao espírito exploratório, à ausência do medo, à criatividade e ao prazer em aprender, aspectos esses necessários a uma apropriação dos conceitos científicos.

2.7. O pensamento de Bachelard e a epistemologia genética de Piaget, um paralelo

Tentaremos, brevemente, traçar alguns paralelos¹⁵ entre o pensamento de Bachelard e a epistemologia genética de Jean Piaget, em função não apenas da importância deste referencial piagetiano para a área de ensino de ciências, mas de sua relevância específica nas questões que envolvem a

¹⁵ Há um tratamento bastante atual e completo entre as epistemologias de Piaget e Bachelard, inclusive na discussão "La dialectique chez Bachelard et Piaget, une méthode ouverte" no Colóquio Internacional "Imaginaire, Rationalité et Education Ouverte" realizado em Lyon, França em maio de 2006. Disponível on-line em:

www.gastonbachelard.org/fr/actu/manifestations/colloque_education_ouverte.htm

construção dos conceitos de Eletromagnetismo. Apresentaremos assim, alguns aspectos da teoria piagetiana que possam realizar um diálogo com Bachelard.

A princípio, vamos considerar que as abordagens apresentadas por Bachelard e Piaget sobre o conhecimento são, em geral, não-contraditórias e até complementares. Apesar de haver importantes diferenças entre elas, e que precisam ser distinguidas, no entanto, as semelhanças parecem a nosso ver mais profundas e úteis, desta forma daremos mais ênfase às mesmas.

Podemos considerar, como vimos anteriormente, a teoria de Piaget, mais do que uma epistemologia: é uma *teoria do desenvolvimento*, que se preocupa principalmente com o desenvolvimento das funções cognitivas. Parte de pressupostos biológicos tendo conseqüências epistemológicas, ou seja é uma teoria centrada no sujeito, que constrói o conhecimento a partir da *ação* sobre o meio externo. Já a abordagem de Bachelard visa construir uma epistemologia em um sentido mais restrito, centrada no objeto, como um estudo da natureza do conhecimento científico e das circunstâncias de sua produção, não se baseando em pressupostos de natureza biológica.

Podemos no entanto, notar importantes conexões dos dois referenciais, que consideram o conhecimento como algo construído ativamente pelo sujeito. Podemos notar a semelhança no tratamento epistemológico da relação entre sujeito e objeto do conhecimento. Bachelard, afirma que o conhecimento não nasce da experiência pela simples observação, pois a experiência primeira é um obstáculo a superar, assim como contrapõe a origem do conhecimento na razão. Piaget também nega que o conhecimento resulte de um conjunto de registros perceptivos, e que o conteúdo da inteligência venha de fora, de forma que o conhecimento objetivo encontra-se atrelado a certas estruturas de ação, ou seja, as estruturas cognitivas não são inatas nem oriundas da experiência.

Bachelard direciona do racional para o real, destacando o caráter de construção racional dos dados da experiência física. Ele destaca a razão, que polemiza com a experiência, fazendo-a um instante da construção teórica. Já Piaget atribui um papel primordial às estruturas mentais e operações lógicas na construção do conhecimento, buscando compreender a construção da razão. Assim poderíamos considerá-los *racionalistas construtivistas*, indicando a aproximação entre eles.

Para Bachelard, no progresso epistemológico, a superação de um conhecimento permite recobrá-lo sob uma nova perspectiva. Em Piaget, cada etapa do desenvolvimento representa ao mesmo tempo uma superação e uma conservação de etapas anteriores. Para ambos, o progresso se dá no sentido de uma crescente *objetivação*.

Podemos observar também que Bachelard concebeu a formação do espírito científico como acontecendo em fases, em estados, sendo, coincidentemente três estados, como na teoria de Piaget do desenvolvimento cognitivo do pensamento das crianças: estados definidos bem analogicamente (sensório-motor, operações concretas, pensamento abstrato):

1° O *estado concreto*, em que o espírito se entretém com as primeiras imagens do fenômeno e se apóia numa literatura filosófica que exalta a Natureza, louvando curiosamente, ao mesmo tempo, a unidade do mundo e sua rica diversidade.

2° O *estado concreto-abstrato*, em que o espírito acrescenta à experiência física esquemas geométricos e se apóia numa filosofia da simplicidade ...

3° O *estado abstrato*, em que o espírito adota informações voluntariamente subtraídas à intuição do espaço real, voluntariamente desligadas da experiência imediata e até em polémica declarada com a realidade primeira, sempre impura, sempre informe (BACHELARD, 1996, p.11-12).

No entanto, um ponto que parece diferenciar o pensamento de ambos é a descontinuidade. Como vimos, a epistemologia de Bachelard é não contínua, com a existência de ruptura na construção do conhecimento científico, tanto no conhecimento histórico como no individual. O conhecimento novo rompe com o anterior, com a superação de obstáculos, na correção dos erros. Piaget, ao contrário, não fala sobre as rupturas mas, tem uma forma continuista no desenvolvimento e na formação das estruturas cognitivas.

Contudo, ambos vão além da simples descrição de um conhecimento acabado, se prendendo a formação desse conhecimento e sua construção progressiva, procurando relações entre o conteúdo desse conhecimento e a forma ligada a ele. Ou seja, procuram encontrar uma estrutura em seus modelos. Piaget, na descrição dos estágios de desenvolvimento, mostra uma estrutura da natureza, em que o conteúdo é ligado a uma forma de pensar, estabelecido pelas operações mentais de cada nível. Já Bachelard enfatiza os

conteúdos do pensamento, como também faz uma estruturação que visa ir além dessa característica, em relação às concepções e as formas de pensar, como por exemplo, a noção de perfil epistemológico.

Um ponto interessante na exposição que Bachelard faz dos diversos tipos de obstáculos na Formação do Espírito Científico, são os termos utilizados, alguns idênticos aos de Piaget, como realismo e animismo, assim como a idéia de "aderência" que também aparece em Bachelard, ao afirmar que os obstáculos "aderem aos conceitos" e perturbam o "novo espírito científico".

Ambos também consideram importante a história do desenvolvimento das idéias científicas. Como vimos, a epistemologia de Bachelard pode ser considerada como "histórica", sendo essa a principal fonte de estudo dos obstáculos epistemológicos. A formação do espírito científico só pode ser entendida à luz da história da ciência, numa busca no passado para o esclarecimento do presente. Da mesma forma, Piaget encontrou na História da Ciência visões semelhantes às manifestas por crianças e adolescentes, no sentido de o esclarecimento histórico ajudar esclarecer a evolução intelectual.

Devemos elucidar a importância dada ao *erro* pelos dois autores que, não entendem a palavra pejorativamente, como algo *negativo*, mas sim como uma falha a ser corrigida. Encaram-no como algo *positivo* na indicação de processos de raciocínio dos sujeitos, primordiais na construção do conhecimento.

Para Bachelard, os erros indicam a presença de obstáculos epistemológicos, e representam etapas a ultrapassar na construção do conhecimento objetivo. Eles não provam uma limitação, mas estão ligados ao próprio ato de conhecer, assim, como não existe conhecimento sem a correção dos erros, não devemos considerá-los como falhas muito menos evitá-los, mas analisá-los. Também, para Piaget, os erros são inevitáveis, ligados ao processo de adaptação cognitiva do sujeito ao meio. A construção de esquemas sucessivos da evolução intelectual depende do processo de equilíbrio, para o qual é fundamental a ocorrência de *desequilíbrios (perturbações)* na interação do sujeito com o meio físico, ocorrendo uma reequilibração.

Visando estabelecer um vínculo ao nosso trabalho no campo educacional, consideramos possível estabelecer algumas relações entre os referenciais de Piaget e Bachelard. Apesar das diferenças, suas abordagens podem ser consideradas, em muitos aspectos, complementares, pelo menos em relação aos problemas do ensino e da aprendizagem das ciências. Contudo, devemos evitar uma banalização dessa discussão, deixando claro, a intenção de oferecer indicações para uma análise mais aprofundada.

2.8. O tratamento do “erro” no campo educacional

Como vimos anteriormente, poderíamos assumir que, segundo as concepções de Bachelard e Piaget, a concepção *construtivista* ressalta o papel fundamental do *erro* na construção do conhecimento. Do "direito ao erro" reconhecido aos alunos, passa-se progressivamente à busca de situações onde os erros seriam reveladores de um saber em constituição, necessário à construção do conhecimento.

Com o intuito de fundamentar o nosso estudo na prática educacional, buscamos na Didática da Matemática, mas que tem reflexos, ou mesmo podem ser aproximados para a Física, a análise do erro, fundamentado nas teorias de Guy Brousseau, que exatamente se apóiam na noção de obstáculos desenvolvida por Bachelard e na teoria da equilibração de Piaget. Brousseau (1981, 1986) adotou, em 1976, novas concepções para a Didática da Matemática, tentando desenvolver uma teoria que facilitasse estudar e explicar os erros dos alunos como estratégias particulares ou pessoais.

Almouloud (1997) explica que no pensamento de Brousseau, o erro seria a expressão ou a manifestação explícita de um conjunto de concepções espontâneas ou reconstruídas integradas numa rede coerente de representações cognitivas, que se torna em obstáculo à aquisição e dominação de novos conceitos. A superação desses obstáculos seria então o projeto do ensino, e o erro a passagem obrigatória.

"O erro não é somente o efeito da ignorância, da incerteza, do acaso (...) mas o efeito de um conhecimento anterior que tinha o seu interesse, seus sucessos, mas que agora se revela falso, ou simplesmente inadaptável. Os erros deste tipo não são erráticos e imprevisíveis, eles se constituem em obstáculos. Tanto no funcionamento do mestre como naquele do aluno, o erro é constitutivo do sentido do conhecimento adquirido". (BROUSSEAU, 1981, p.171 – tradução livre).

"Além disso, estes erros, num mesmo sujeito, estão ligados entre eles por uma fonte comum: uma maneira de conhecer, uma concepção característica, coerente senão correta, um "conhecimento" antigo e que deu certo em toda uma área de ações". (BROUSSEAU, 1981, p.173 – tradução livre).

Desta forma, os erros parecem como conseqüência das respostas atuais do sistema cognitivo às perturbações oferecidas pelo meio, representando verdadeiras produções intelectuais, que indicam formas particulares de organização dos esquemas do sujeito, em função da idade (Astolfi, 1999).

Dos estudos da noção de obstáculo Almouloud (1997) apresenta uma caracterização dos mesmos no processo educacional, formulada por Duroux em 1983 e retomada por Brousseau em 1986:

- a) Um obstáculo é um conhecimento, uma concepção, não uma dificuldade ou uma falta de conhecimento.
- b) Este conhecimento produz respostas adaptadas num certo contexto, freqüentemente encontradas.
- c) Mas ele produz respostas falsas fora deste contexto. Uma resposta correta e universal exige um ponto de vista notavelmente diferente.
- d) Além disso, este conhecimento resiste às contradições com as quais ele é confrontado e ao estabelecimento de um conhecimento melhor. Não basta possuir um conhecimento melhor para que o precedente desapareça (é o que distingue o transpor de obstáculos da acomodação de Piaget). É então indispensável identificá-lo e incorporar a sua rejeição no novo saber.
- e) Depois da tomada de consciência de sua inexatidão, ele continua a manifestar-se de modo intempestivo e obstinado. (ALMOULOU, 1997, p.39).

Dessa forma, os obstáculos aparecem pela incapacidade de compreender certos problemas ou os resolver eficazmente, ou pelos erros que para serem superados, deveriam conduzir a instalação de um novo

conhecimento (Almouloud, 1997). É nesta visão que o erro é considerado necessário para desencadear o processo da aprendizagem do aluno e, permitir ao professor situar as concepções do aluno, eventualmente compreender os obstáculos subjacentes, adaptando a situação didática.

A noção de obstáculo é importante de um lado, porque a aprendizagem por adaptação, que permite dar sentido aos conceitos, produz, em geral, ao mesmo tempo concepções errôneas e conhecimentos locais os quais devem ser rejeitados, por outro lado porque esses nós de resistência, os obstáculos, vão necessitar da construção de situações adaptadas.

Mesmo não sendo uma classificação unânime, apresentamos as várias origens para os obstáculos identificados por Brosseau (1981) que correspondem a maneiras diferentes de serem tratados no plano didático:

1) Obstáculos epistemológicos: São obstáculos *"que tiveram um papel importante no desenvolvimento histórico dos conhecimentos e cuja rejeição precisou ser integrada explicitamente no saber transmitido"*. (Brousseau, 1981, p.238). Os obstáculos de origem epistemológica são ligados ao saber caracterizados pelas dificuldades encontradas pelos cientistas para os superar na história. Eles são constitutivos do conhecimento visado, são aqueles aos quais "não se pode nem se deve escapar".

2) Obstáculos didáticos: Os obstáculos de origem didática são aqueles *"que parecem depender apenas de uma escolha ou de um projeto do sistema educativo"* (Brousseau, 1981, p.238), que resultam de uma Transposição Didática¹⁶ que o professor pode dificilmente renegociar no quadro restrito da classe. Os obstáculos didáticos aparecem na escolha das estratégias do ensino, deixando se formar, no momento da aprendizagem, conhecimentos errôneos ou incompletos que se revelarão mais tarde como obstáculos ao desenvolvimento dos conceitos. Os obstáculos didáticos são inevitáveis, inerentes à

¹⁶ Termo introduzido em 1975 pelo sociólogo Michel Verret e rediscutido por Yves Chevallard em 1985 e por, Jean-Pierre Astolfi e Michel Develay (1989). Analisaremos a "Transposição Didática" no próximo capítulo.

necessidade da Transposição Didática. Reconhecer um obstáculo permite ao professor rever sua primeira apresentação do conceito em questão, para explicitar melhor a dificuldade vivida pelo aluno.

3) Os obstáculos psicológicos: Tais obstáculos aparecem quando a aprendizagem está em contradição com as representações profundas do sujeito ou quando ela induz uma desestabilização inaceitável.

4) Os obstáculos ontogênicos: Os obstáculos de origem ontogênica aparecem em razão das limitações do sujeito num dado momento de seu desenvolvimento.

Outras origens podem surgir, deixando a classificação ainda maior, como os de origem *cultural*¹⁷, que corresponde ao peso histórico de certas formas de pensar, no qual os sentidos políticos e culturais influenciam o conhecimento. Têm-se ainda os obstáculos *técnicos* que se apresentam também como causa de erros ou da incapacidade de compreender alguns problemas, estes surgem quando a complexidade da tarefa ultrapassa as capacidades da atenção do aluno.

Durante a aprendizagem, ao iniciar o contato com um conceito inovador, pode ocorrer uma revolução interna entre o equilíbrio aparente do velho conhecimento e o saber que se encontra em fase de elaboração. Isto interessa à didática, pois para aprendizagem escolar, por vezes, é preciso que haja rupturas com o saber cotidiano.

Segundo Pais (2002), o interesse em estudar a noção de obstáculo decorre do fato da mesma permitir identificar as fontes de diversos fatores que levam a aprendizagem a uma situação de inércia e de obstrução. Baseado nas idéias de Bachelard, destaca que é preciso entender como ocorre a reorganização intelectual de modo que o novo conhecimento entre em conflito com os anteriores, sendo esse o momento em que os obstáculos se manifestam.

¹⁷ Para maior aprofundamento, ver trabalho "Identificando o obstáculo cultural em aulas de física do ensino médio", de Santos Neto & Pietrocola (2006)

Tal como manifestado por Brousseau (1981, 1983), a idéia de obstáculo não finda a busca relativa aos problemas e dificuldades no campo educacional e pedagógico. Essa idéia nos mostrou e nos mostra caminhos e direções importantes nas quais ainda teremos muito que percorrer na tentativa de suplantar os diversos obstáculos presentes no ensino do Eletromagnetismo.

2.9. A superação e ruptura dos obstáculos

A revolução que se produziu nas Ciências fundamentais, em especial na Física, no fim do século XIX e princípios do século XX levou, segundo Bachelard, a repensar as relações entre a razão e a experiência. A experiência já não pode ser considerada como uma simples verificação da hipótese que, ela própria, seria diretamente sugerida pela observação, como queria o empirismo. O caminho da Ciência moderna não deve ser simplesmente racionalista, e sim ter um modelo interativo, não só a razão e não só o real.

A falta de uma análise filosófica e histórica do processo de construção da Física faz com que a visão indutivista da Ciência permaneça como um paradigma. A questão que angustia o aluno - de que forma surgem as leis e os conceitos? - recebe uma resposta simplista - "da experiência". Tudo passa a ser uma mera questão de ignorância ou de "inexperiência" do aluno enquanto que para ele o problema são os professores que não fazem nem demonstram as "experiências" que deram origem a tudo. (SOUZA CRUZ, 1989, p.6-7).

Tal reflexão esclarece também o passado da Ciência. A epistemologia bachelardiana que pretende ser um estudo científico da história das Ciências, empenha-se em mostrar que a Ciência procede por descontinuidade. Cada progresso é um "corte" em relação a um saber anterior que se pode revelar inteiramente ultrapassado. Podemos afirmar, no íterim de nosso trabalho, que a verdadeira "ruptura" epistemológica bachelardiana, necessariamente não ocorreu quando da "descoberta" do Eletromagnetismo por Oersted, pois a análise histórica nos mostra que em certo sentido, *"a relação entre eletricidade e magnetismo já era conhecida desde o século XVIII"* (Martins, 1986, p.81).

Assim podemos afirmar que a “ruptura” ocorreu na aceitação das novas propriedades de simetria do fenômeno eletromagnético. Ou seja, ao aceitar a existência de um campo magnético circular em torno de um fio conduzindo uma corrente elétrica, o que para nós parece “óbvio”, teve aceitação difícil da comunidade científica da época.

Poderíamos assim afirmar que, o tópico básico da Teoria Eletromagnética, a geração de um campo magnético circular em torno de um fio, encobre graves problemas conceituais. Desta forma, a simplificação das explicações aparentemente óbvias dos livros didáticos torna muito difícil a compreensão das propriedades de simetria do fenômeno, ou seja, que a dificuldade de transposição na aprendizagem do aluno da visão do plano para o tridimensional, quando do estudo do Eletromagnetismo, não é tão trivial como a história do Eletromagnetismo nos mostra. Identificar este “obstáculo” poderia conceder a professores, um melhor entendimento deste fenômeno, revelando as dúvidas de seus alunos e levando em consideração as suas dificuldades a fim de abordar o problema com cuidado, motivo talvez de um estudo posterior.

Muitas soluções foram dadas para descrever o fenômeno do campo magnético gerado por uma corrente em um fio, contudo como educadores, devemos ter em mente a proposição bachelardiana de não legitimar a Ciência, não aceitá-la como algo originariamente dado, e sim de reconstituir passo a passo essa Ciência que é produto de um processo e de uma prática histórica.

Dessa forma, podemos sintetizar, que a utilização por nós educadores, de uma análise histórica da construção da Ciência,

(...) não é só um artifício didático. Um artifício para aumentar uma cultura. É mais do que isso. É possibilitar que a Ciência seja tratada como uma atividade humana que tem contradições, processos de idas e vindas e toda uma série de coisas que pode até chegar num consenso no final do processo. (SOUZA CRUZ, 1988, p.87).

Iniciamos a discussão do capítulo levantando a idéia central de que, a Ciência se estabelece na superação de obstáculos epistemológicos. Como método para o desenvolvimento da Ciência, podemos colocar que as

indagações são questões chaves para o desenvolvimento da Ciência. Caminhando para uma abordagem bachelardiana, concordamos com o papel do desenvolvimento histórico do pensamento científico.

Dentro desta perspectiva, destacamos a importância do obstáculo epistemológico e o papel do erro no desenvolvimento científico. Muitas vezes, a preocupação com a objetividade, que leva o historiador da Ciência a trabalhar os textos científicos sem chegar a medir as variações psicológicas na interpretação do mesmo. Numa mesma época, sob uma mesma palavra, coexistem conceitos diferentes, pois segundo Bachelard poucos se importam com a psicologia do erro.

Podemos fazer uma crítica aos métodos tradicionais de ensino de Ciências, onde os professores imaginam que: 1) começa como uma aula; 2) é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição; 3) se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Os professores não levam em conta que o adolescente entra na aula de Física com conhecimentos empíricos já constituídos. Não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de derrubar os obstáculos já arraigados pela vida cotidiana.

Levantamos o papel da construção do conhecimento, a extensão das idéias de Bachelard e Piaget, na necessidade de desencadear um processo de estabelecimento de um modelo alternativo de ensino de Ciências, considerando, ao traçarmos paralelos entre Bachelard e Piaget, como a questão central deste paralelo a análise do rompimento, no processo de construção dos conhecimentos científicos.

Tentamos caracterizar neste capítulo nosso referencial teórico epistemológico, colocando-o no contexto da área de pesquisa em ensino de Ciências, objetivando estudar a sua viabilidade na compreensão da construção dos conceitos de Eletromagnetismo. Neste sentido o obstáculo, na prática educacional, pode se caracterizar como um conhecimento ou uma concepção, e não simplesmente por uma dificuldade ou uma falta de conhecimento que apresenta respostas adequadas neste contexto e, fora dele apresenta

respostas falsas.

No capítulo seguinte, tentaremos mostrar como os conceitos podem ser formados como modelos mentais dos estudantes, assim como tentaremos transpor as dificuldades dos mesmos, levando a necessidade de se saber como o modelo se estabelece e principalmente como os obstáculos são localizados.

3. MODELOS, MODELIZAÇÃO E O COMPONENTE EMPÍRICO

3.1. Introdução

Neste capítulo discutiremos as idéias sobre modelos conceituais, geralmente empregados no ensino de Física, a diferença entre modelização ou modelagem¹⁸ e simulação e a representação dos alunos a cerca dos conceitos de Eletromagnetismo.

Referenciado no estudo de Borges (1997), a fim de subsidiar nossa pesquisa com dados empíricos, tentaremos identificar em um grupo de estudantes, a tentativa dos mesmos de construir modelos mentais de Eletromagnetismo, basicamente sobre a concepção do campo eletromagnético, e os fenômenos relacionados ao mesmo.

Finalmente, na tentativa de elaborar a proposta de um modelo didático, utilizaremos, como referência, o conceito de "Transposição Didática" por entender que ele pode oferecer indicativos para melhor organização didática que leve a uma melhor compreensão da natureza do Eletromagnetismo.

3.2. Os Modelos Conceituais

O estudo de modelos e modelizações teve sua origem na Matemática.

Em uma vertente o estudo de modelos está ligado ao nascimento da Dinâmica de Sistemas nos anos 60, com o livro "Industrial Dynamics" de Forrester (1961). Continuou na década de 70 com diversos livros importantes, também de Forrester (1968, 1969 e 1973), e consolidou-se definitivamente com

¹⁸ Os termos modelização e modelagem tem sido utilizados por diversos autores, tendo a princípio o mesmo significado. O termo modelagem está ligado mais à escola anglo-americana, geralmente na resolução de problemas de ambientes computacionais. Já o termo modelização é mais recente, de origem da escola francesa não está ligado a uma atividade meramente racional ou mecânica. Apesar de vincular-se aos aspectos empíricos dos fenômenos enfocados, trazidos pela observação e pelos resultados de experiências, a modelização é uma atividade criadora. Nela inserem-se as preferências pessoais, as paixões intelectuais e a bagagem de conhecimentos anteriores do cientista, balanceadas e organizadas pela *intuição* pela *razão*. (Bunge, 1974, p. 22).

o relatório do Clube de Roma¹⁹ sobre os "Limites ao Crescimento" de Meadows (1974). Mais recentemente outros autores, como Mellor et alii (1994) e Kurtz dos Santos & Ogborn (1992, 1994) trabalharam com a aplicabilidade de tais conceitos de modelos computacionais em suas pesquisas.

Em outra vertente, através de diversos autores, Bunge (1974), Martinand (1986), Pinheiro (1996), Pietrocola (1999), Astolfi & Develay (2001), podemos ver a aplicabilidade desses conceitos teóricos de modelos e modelização na área das Ciências Exatas, extrapolando tais aplicações no Ensino de Física.

Baseado nestes estudos, no intuito de discutir um modelo específico do Eletromagnetismo, onde o conceito de campo é de grande importância, mas que no entanto, exige uma considerável abstração²⁰, iremos partir das idéias de Mario Bunge²¹. Em particular sobre a sua maneira de conceber as relações entre as teorias e a realidade, ou seja, como os modelos podem oferecer uma forma de conceber o realismo científico sem no entanto identificá-lo com formas ingênuas que acabam por propor as teorias científicas como imagens refletidas da realidade.

As discussões do trabalho de Bunge (1974), iniciam-se pela análise da *função dos modelos* na constituição do conhecimento teórico das Ciências. Segundo o autor, a Ciência desenvolvida pela sociedade moderna tem a capacidade de produzir conhecimento teórico diferente da sociedade pré-industrial, onde a crença, opinião e conhecimento pré-teórico eram suficientes. A Ciência contemporânea não é somente experiência, é sim, teoria mais experiência planejada, executada e entendida à luz de teorias.

No campo educacional, a utilização de modelos mais simples, é aceitável na medida em que seus objetivos sejam facilitar a compreensão, ou

¹⁹ O final dos anos 60 e início dos 70 foi um período de intensa reflexão sobre as relações entre meio ambiente e crescimento econômico. Em 1968, reuniu-se em Roma um grupo de cientistas, industriais, economistas, educadores e políticos (conhecido como clube de Roma) para estudar os fundamentos da crise pela qual passava a civilização.

²⁰ O campo não é "visível", notadamente na realidade dos estudantes. A sua conceituação empírica dá-se em função dos efeitos provocados pelo mesmo.

²¹ Físico argentino, PhD em Física-Matemática, professor em Buenos Aires e no Canadá. Autor de mais de 80 livros e 400 publicações, com ênfase na Filosofia das Ciências. Especificamente a sua obra "Teoria e Realidade" é direcionada ao uso de modelos na Ciência.

seja, que estes não se tornem modelos que se sujeitam à fundamentação teórica não relevante.

A partir destas idéias, Pietrocola (1999) afirma que: *“os modelos são abordados na medida em que se procura relações entre as teorias e os dados empíricos. Estes são os intermediários entre duas instâncias limítrofes do fazer científico: conceito e medidas.”* (Pietrocola, 1999, p.10). O autor ressalta que *“os dados empíricos apesar de bem próximos da realidade, não podem ser inseridos em sistemas lógicos e gerar conhecimento. Desta aparente dicotomia entre teórico e empírico, a modelização pode se constituir em uma instância mediadora”* (Pietrocola, 1999, p.10).

Na elaboração do conceito de realidade, Bunge (1974), parte das idealizações, na forma da identificação das suas características gerais. Assim, para o autor, instala-se um *objeto-modelo* ou *modelo conceitual* de uma coisa ou *de um fato* e se designa ao mesmo, propriedades possíveis de serem sustentadas por teorias. Os objetos-modelos *“se constituem em imagens conceituais (e portanto abstratas) dos elementos pertencentes a um sistema real que se pretende interpretar através de uma teoria geral.”* (Bunge, 1974, p.16), assim, Pietrocola (1999) complementa que tais objetos, *“apesar do alto grau de realidade, não permitem nenhuma operacionalização que vá além do estabelecimento de semelhanças.”* (Pietrocola, 1999, p.10)

Já a construção de uma teoria do objeto-modelo requer, para Bunge, um *modelo teórico*. Ressalta-se que, todo modelo teórico *“é parcial e aproximativo”* (Bunge, 1974, p.30), pois somente os elementos do trabalho científico, como a observação, a intuição e a razão, não permitem o conhecimento do real. Já, o método da modelização e da sua comprovação apresenta um bom resultado no conhecimento da realidade. *“De maneira geral, podemos dizer que um modelo é resultado de uma reflexão sobre uma parte da realidade e da tentativa de entender e ou agir sobre ela”* (Bassanezi, 1994, p.57).

Os modelos e a modelização vem sendo estudados nos últimos anos, no escopo da Didática das Ciências. Algumas considerações são levantadas por Astolfi & Develay (2001), que afirmam que a presença da modelização em sala

de aula advém, *“da necessidade de explicação que não satisfaz o simples estabelecimento de uma relação casual”* (Astolfi & Develay, 2001, p.104) e os modelos científicos são apresentados para os alunos *“como a realidade diretamente interpretada muito mais do que representações construtivas, conscientemente reduzidas e calculáveis”* (Astolfi & Develay, 2001, p.105).

Para Astolfi & Develay (2001) interpretando Martinand (1986), os modelos permitem a apreensão da realidade em razão de dois motivos:

1º) facilitar a representação do "escondido", pois *“substituindo as primeiras representações por variáveis, parâmetros e relações entre variáveis, fazem com que se passe a representações mais relacionais e hipotéticas”*. (Astolfi & Develay, 2001, p.103).

2º) auxiliar a pensar o "complexo", porque *“identificando e manipulando bons sistemas, permitem descrever as variáveis de estado e de interação, as relações internas entre essas variáveis, os valores de imposições exteriores”*. (Astolfi & Develay, 2001, p.103).

Construir atividades de modelização de Eletromagnetismo, estruturando propriedades ao modelo, e comparando as atividades experimentais, pode facilitar aos alunos, reconhecer a diferença entre a referência empírica e os modelos, pois, *“o trabalho didático sobre a modelização não se opõe ao trabalho experimental, mas sim o complementa.”* (Astolfi & Develay, 2001, p.107). O autor, deixa claro que nem todos os modelos científicos se equivalem, e cada um deles faz com que atuem especificamente três elementos que interagem entre si: a) Uma representação com elementos visuais, como maquetes, modelos de estrutura, etc.; b) Uma construção teórica que possa substituir a relação dos dados empíricos e c) O estabelecimento de símbolos sujeitos a regras operatórias bem definidas que possam substituir os conceitos e as relações dos sistemas. Em razão do estabelecimento destes elementos, podemos afirmar que os modelos estão atrelados a natureza das disciplinas, pois como diz Astolfi & Develay interpretando Bunge, (2001, p.107): *“um modelo em biologia nunca atingirá a formalização de um modelo em física”*.

Em razão destas condições apresentadas anteriormente, podemos afirmar a importância e necessidade do uso de modelos no ensino de Ciências, em especial no Eletromagnetismo, facilitando a aprendizagem dos seus conceitos, fundamentalmente abstratos. A utilização dos modelos, segundo Martinand (1986), possibilita ao aluno uma melhor aprendizagem das características mais importantes da realidade. O autor, ainda afirma, que existe na construção da Ciência, um caráter dual na constituição dos modelos: o *hipotético* e *sistemático* e que os alunos devem, assim, se apropriar.

Nesta vertente da importância dos modelos e do processo de modelização, já que os mesmos podem ser um meio de transformação dos conteúdos de ensino, listamos quatro pontos que mostram, resumidamente essa importância, pois:

“1) se modeliza visando apreender o real; 2) todo modelo científico se traduz como um incremento à compreensão da realidade do mundo; 3) assim como na Ciência, a construção de modelos é resultado de um processo criativo mediado pelos/e entre os homens pela ação da razão e; 4) a sala de aula deveria conter atividades de onde se passasse de um real imediato (forjado pelo senso comum) a um real idealizado pela Ciência”. (PIETROCOLA 1999, p.13)

Vimos que se para Bunge os modelos são a essência do próprio trabalho científico, Pietrocola (1999) diz que:

...da mesma forma acreditamos que eles devam também o ser para o ensino de ciências, pois ao construirmos modelos exercita-se a capacidade criativa com objetivos que transcendem o próprio universo escolar. A busca de construir não apenas modelos, mas modelos que incrementem nossas formas de construir a realidade, acrescenta uma mudança de "qualidade" ao conhecimento científico escolar. (PIETROCOLA, 1999, p.12)

Assim, para a melhoria da qualidade do ensino de Ciências, o professor deve buscar fazer uso de modelos, trabalhando a modelização com seus alunos. Ou seja, melhorar a *qualidade do conhecimento científico escolar* ensinado, assegurando assim, uma melhor relação com o mundo em que vivemos.

Poderíamos também pensar como Bunge (1980), quando fala da natureza dos objetos conceituais, que entende constructo²² como uma criação mental, cerebral, e não como objeto mental ou psíquico, tal como uma percepção, uma invenção, uma lembrança. Por exemplo, para um aluno, pensar em campo magnético gerado por uma corrente, quando ele não "está lá" não é correto mas, é que, na realidade o "campo magnético" não têm que existir, ele é um constructo de alto nível. Assim, seria possível pensar no "campo magnético" como um constructo, pois o autor, se refere a elementos como força, energia, entropia, etc.

A elaboração destes constructos é de particular interesse para a Física do Ensino Médio ou até mesmo Universitário para que os modelos possam estabelecer alguma relação entre grandezas físicas e suas variáveis, sem no entanto, que a discussão teórica de tais constructos, possa dificultar o conhecimento físico escolar.

Uma possível solução seria a introdução de uma modelização computacional neste processo. Utilizando-se a modelização a partir da construção de simulações utilizando o computador, pode-se possibilitar uma maior compreensão dos conteúdos contribuindo para o desenvolvimento cognitivo em geral. Tal modelização pode também contribuir na possível melhora do processo de aquisição do conhecimento, exigindo que os estudantes pensem em um nível mais elevado, generalizando conceitos e relações. Além disso podem propiciar oportunidades para que os alunos testem seus próprios modelos cognitivos, detectando e corrigindo inconsistências.

3.3. A modelização e a simulação

Vimos que um modelo pode ser visto como um novo mundo construído para representar fatos/eventos/objetos/processos que acontecem no nosso mundo ou num mundo imaginário. Normalmente tais modelos são mais simples

²² Esse termo, constructo, é empregado na tradução para o português dos livros de Bunge.

que o 'mundo a ser modelado' e na maioria dos casos interagimos com esses modelos com o claro objetivo de melhor compreender o mundo modelado.

Vimos também outro importante aspecto dos modelos e do processo de modelização é que uma mesma realidade pode ser modelada de diferentes maneiras, representando diferentes aspectos do problema ou diferentes visões do modelador.

Uma forma atual de modelizar, é através de sistemas computacionais, onde cada modelo captura um diferente aspecto de sistemas de modelização: permitem a representação de estruturas significantes e eventos de um determinado mundo; contêm um conjunto de regras que governam o funcionamento de suas partes; e podem ser utilizados para comparar/descrever diferentes representações (Sowa, 1984). Softwares computacionais que trabalham desta forma são chamados de sistemas (ou ambientes) de modelagem computacional.

Por sua vez, *simulação* está associada a idéia de um componente de software que objetiva imitar o comportamento de um certo domínio. De acordo com Steed (1992) a diferença entre *modelos* e *simulações* é que os modelos são "...representações de estruturas, enquanto que a simulação infere um processo de iteração entre as estruturas que compõem o modelo com o objetivo de criar um comportamento." (Steed, 1992, p.40 - tradução livre) Em outras palavras pode-se dizer que as *simulações* focam os resultados (saídas) gerados pela execução do modelo (a qual o usuário não tem acesso) que elas contêm. Um sistema de modelagem pode ser utilizado tanto para criar modelos, quanto simulações.

Existem diferentes características dos sistemas de modelagem computacional que podem ser utilizadas para classificá-los. No entanto apresentaremos os aspectos pertinentes ao uso educacional destes ambientes, apresentando a classificação proposta por Bliss & Ogborn (1992) em ambientes de modelagem de escolas inglesas:

⇒ *Modelos dinâmicos versus estáticos*: Uma importante dimensão dos sistemas de modelagem trata da sua relação com o tempo. Sistemas de modelagem que permitem a construção de modelos que se modificam (evoluem) com o tempo são conhecidos como ferramentas de modelagem dinâmica. Caso contrário, estes ambientes são ditos estáticos. Um exemplo de um modelo dinâmico é da indução eletromagnética, em que o conceito é elaborado fundamentalmente numa função temporal. Já o modelo em escala de um carro de formula 1 para testagem num túnel de ar, pode ser visto como um modelo estático.

⇒ *Modelos qualitativos*: Fortemente baseados numa especificação descritiva dos objetos e suas relações do mundo a ser modelado. Em nosso dia-a-dia estamos bastante acostumados a utilizar este tipo de mecanismo para explicar a outras pessoas como determinados fenômenos ocorrem. Apesar destes tipos de modelos não serem muito apropriados para apresentação automática e repetição de simulações, podem exemplificar um sistema ótico geométrico de formação de imagens em espelho e lentes, ou mesmo para transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, como a descrição qualitativa do funcionamento de comunicadores (rádios, televisores, telefones, e outros).

⇒ *Modelos semi-quantitativos*: Caracterizados pela descrição de objetos e eventos de uma forma ordinal (em contrapartida à forma numérica como nos modelos quantitativos) tais como "X aumenta Y" ou "X diminui Y". Da mesma forma que os modelos qualitativos, são bastante utilizados na descrição de situações do dia-a-dia. O comportamento termodinâmico de um gás, como por exemplo, estabelecendo a temperatura constante, o aumento da pressão de um gás leva a diminuição de seu volume, já se diminuirmos sua temperatura, mantendo-se a pressão constante, verificamos a diminuição de seu volume. Apesar de relacionamentos do tipo aumenta, diminui, maior, menor, etc. não sejam matematicamente precisos, servem para externar informações sobre o *como* e o *porque* da ocorrência de mudanças em determinados fenômenos, ou as relações causa-efeito.

⇒ *Modelos quantitativos*: São fortemente baseados numa descrição matemática das variáveis e relações existentes entre as mesmas para descrever (ou modelar) uma determinada situação do mundo representado. Nestes ambientes, para descrever um problema é necessário que os usuários identifiquem suas principais variáveis e especifiquem a exata relação funcional entre as mesmas. Dentro desta perspectiva, a tentativa de explicar como a velocidade de um determinado veículo se modifica ao longo de um período de tempo, passa necessariamente pela formulação e solução de um sistema de equações do tipo: $v = v_0 + at$; $x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$

3.4. Os Modelos Mentais

Da mesma forma como os físicos constroem modelos da natureza, os alunos também constroem seus modelos, contudo, há uma diferença fundamental: os modelos físicos são representados por modelos conceituais, ou seja, modelos elaborados por pesquisadores para facilitar a compreensão dos conceitos ou o ensino de sistemas físicos, desta forma, são representações mais consistentes com os fenômenos físicos. Contudo, os modelos dos alunos ou de qualquer pessoa, inclusive os que criam modelos conceituais, são modelos mentais, ou seja, modelos que as pessoas constroem para representar fenômenos físicos ou fenômenos abstratos. Estes modelos não precisam ser precisos ou completos, como geralmente não o são, mas devem ser necessariamente funcionais, evoluindo naturalmente para modelos mais elaborados. Interagindo com o sistema, o indivíduo modifica seu modelo mental a fim de alcançar e manter sua funcionalidade.

Explicitamente, o termo modelo mental não possui um significado consensual quando utilizado em investigação no ensino das Ciências. Sem entrar na discussão dos diferentes significados atribuídos ao termo, consideramos este um ponto importante na preparação da nossa investigação inicial, e desta forma, adotaremos a concepção de modelo mental defendida por Johnson-Laird (1983), por esta ser, provavelmente, a mais abrangente e a mais utilizada em estudos análogos.

Para Johnson-Laird, como explicitado por Moreira (1996), os modelos mentais são representações analógicas de conceitos, objetos ou acontecimentos, formados por elementos (“tokens” - símbolos) e por relações entre esses elementos que permitem aos indivíduos que os possuem fazer previsões sobre um determinado sistema físico que o modelo represente de forma analógica (Moreira, 1996, p.196). O autor também acrescenta que o raciocínio acerca de um problema específico é facilitado, se o indivíduo utilizar e manipular um modelo mental que represente a informação relevante, de forma apropriada, para a sua resolução, não usando as regras de inferência lógica, embora sendo capaz de o fazer.

Particularizando esta concepção para as Ciências Físicas, Borges (1997), afirma que raciocinar sobre sistemas físicos consiste em imaginar como um dado estado de coisas desdobra-se em uma série de outros eventos, o que pode ser entendido em termos de nossos modelos mentais. Logo, para o autor, um modelo mental é conhecimento sobre uma determinada questão ou domínio que usamos para pensar sobre esta por meio de simulação mental. Tais modelos têm a característica de capacitar-nos a realizar ações inteiramente na imaginação. Isso permite-nos internalizar as representações que criamos para as coisas e estados de coisas no mundo e processá-los como se fossem externos.

Neste íterim, um estudo de Gentner & Gentner (1983) mostra que as inferências que alguém faz sobre uma determinada questão depende dos modelos adotados. Segundo os autores, o domínio de eletricidade é ideal para investigar o papel de analogia, pois é um fenômeno familiar; todo o mundo em nossa sociedade tem algum conhecimento sobre este domínio. Como nós não podemos definir uma compreensão ideal, porque seus mecanismos são essencialmente invisíveis, eletricidade é explicada freqüentemente através de analogias.

Para ilustrar essa afirmativa anterior, Gentner & Gentner (1983), identificaram dois modelos de eletricidade usados por uma população de estudantes americanos: a analogia com um *circuito hidráulico*, que também é

muito utilizada em salas de aula no Brasil, e a analogia com *objetos em movimento*:

Na analogia de um *circuito hidráulico*, as baterias são reservatórios de água (caixas d'água), podendo explicar as ligações série/paralelo. Os resistores elétricos são canos de vários diâmetros, onde pode ocorrer variação do fluxo de água, explicando a variação da corrente nestes resistores. E a energia elétrica, relacionada a voltagem (ddp) é associada a pressão hidráulica. Esta representação peca na explicação da combinação de resistores.

Já na analogia com os *objetos em movimento*, a bateria é imaginada como uma bomba, forçando os objetos a movimentarem-se pelo circuito fechado, enquanto que os resistores são vistos como obstáculos dificultando a passagem dos objetos pelo circuito.

Ambas as explicações apresentam limitações e equívocos, mas as explicações do segundo modelo para a associação de resistores é mais condizente com o conhecimento científico. Dessa forma, podemos inferir, baseados no estudo de Borges (1997), que os modelos mentais dos estudantes sobre um certo domínio influenciam a maneira como eles tratam os problemas propostos naquela área.

Numa visão oposta de que ter um modelo não é necessário, aparece na área técnica ligada à produção e ou utilização de equipamentos, como em muitos casos das Engenharias. Podemos verificar tal visão, nos manuais técnicos por exemplo, e podemos extrapolar a muitos manuais de experimentos científicos, tipo “receita de bolo” onde, geralmente, os usuários ou alunos são guiados em como proceder para que o equipamento funcione, sem se preocupar com os princípios básicos de funcionamento.

Notadamente, apesar das limitações e erros que tais analogias possam apresentar, é de nossa opinião que a utilização contenciosa dessas analogias na apresentação de um modelo conceitual ajuda os alunos a construírem

melhores modelos mentais do domínio, organizando e integrando o novo conhecimento.

Dessa forma, *“um modelo icônico deve ter algumas características: ser completo, isto é, representar todos os elementos estruturais e exibir todas as relações entre eles para que possa ser usado produtivamente pelo estudante”* (Borges, 1997, p.8). Na maioria dos livros didáticos mais utilizados no Ensino Médio, tais como Paraná (1993) e Alvarenga & Máximo (2000), isto não é observado, o que justifica a dificuldade apresentada na visualização e compreensão dos conceitos do Eletromagnetismo

Além disso, o nível de detalhe e as relações, estruturas e ações das partes do modelo devem ser adequados ao nível de compreensão do estudante. *“O modelo deve ser claro a respeito do seu escopo e limitações para representar o sistema alvo e usar um vocabulário adequado aos estudantes. Termos novos devem ser cuidadosamente explicados.”* (Borges, 1999, p.8)

Visando buscar subsídios empíricos da transição dos modelos mentais dos estudantes para um modelo científico, relatamos nosso ensaio de exploração do entendimento conceitual de Eletromagnetismo, envolvendo estudantes de vários níveis de escolaridade.

3.5. O entendimento dos estudantes: os envolvidos

Uma significativa contribuição para a verificação de aspectos relevantes que alargam o campo de investigação remete-se as entrevistas, de forma exploratória, com estudantes na busca de manifestações, espontâneas e não formais de sala de aula, que contivessem informações relativas as suas dificuldades de “entender” a fenomenologia do Eletromagnetismo.

As entrevistas²³ foram realizadas ao longo do segundo semestre de 2003. Num primeiro momento escolhemos estudantes do Ensino Médio para serem entrevistados (entrevistas semi-estruturada). Esta entrevista ocorreu após os alunos terem estudado a unidade de Eletromagnetismo em suas escolas de origem. O mesmo procedimento foi aplicado a alunos universitários (em sua maioria do Curso de Licenciatura em Física) após terem cursado a disciplina de Física Geral III (Eletromagnetismo) de seu curso.

Apresentamos esse estudo em primeiro lugar como uma tentativa de identificar se os alunos do nível médio e superior possuem modelos mentais de Eletromagnetismo, principalmente no tocante a visualização tridimensional dos fenômenos eletromagnéticos. Ao trabalharmos com alunos de dois níveis de escolaridade e práxis com Eletricidade, tentamos descrever as mudanças nos modelos à medida que os usuários adquirem conhecimento e práxis com a área, conforme indicado por Greca & Moreira (1996). Em segundo lugar, a tentativa de detectar se havia um domínio ou não de um ferramental matemático das relações funcionais entre as grandezas do Eletromagnetismo e, no caso positivo, suficiente para reduzir as dificuldades de aprendizagem manifestadas no Ensino Médio.

3.6. O entendimento dos estudantes: os procedimentos

A construção do instrumento de pesquisa deve ser orientada pelas questões que um modelo mental pode responder: Como é o sistema? De que ele é feito? Como ele funciona? O que ele faz? Para que ele serve? *“Parte dessas questões são factuais e servem para estabelecer o contexto da*

²³ A amostra contou com 8 alunos advindos imediatamente do Ensino Médio e 5 do Ensino Superior, num total de 13 estudantes. Desse total, dividiam-se em 9 alunos do sexo masculino e 5 alunos do sexo feminino, cujas idades variavam de 19 a 44 anos, sendo: 2 com 18 anos, 2 com 19 anos, 2 com 20 anos, 2 com 22 anos e 6 respectivamente com 24,25,30,31,39 e 44 anos. Não levamos em consideração a origem étnica dos envolvidos, uma vez que este fator foi considerado irrelevante, todos são brasileiros sem características étnicas marcantes.

entrevista, enquanto que outras exigem mais reflexão dos sujeitos". (Vosniadou & Brewer 1992, p.540 – tradução livre).

Levando essas indagações a contento, nas entrevistas os alunos trabalharam com três situações experimentais envolvendo Eletromagnetismo. A entrevista foi separada em duas etapas. A primeira etapa foi denominada de "etapa das gravuras" e a segunda "etapa do concreto". Basicamente, aplicou-se a mesma metodologia de Borges (1996), onde cada aluno era estimulado a descrever e fazer previsões sobre o resultados de cada situação mostrada em gravuras e explicava ou tentava explicar as razões que o levavam a esperar por tal resultado, depois realizava a atividade experimental e por fim explicava o acordo ou desacordo entre predição e resultado.

Na etapa das gravuras eram apresentadas três ilustrações ampliadas e impressas em folhas de tamanho A4, escolhidas em livros didáticos mais utilizados no Ensino Médio, e que fazem parte da bibliografia da maior parte das escolas regionais de nível médio, como Alves F^o (1986), Ramalho (1986), Santos (1987), Paraná (1993) e Alvarenga & Máximo (2000). Destes, propositalmente foram escolhidas as gravuras que, na leitura deste pesquisador, mais se identificavam com as atividades experimentais propostas.

As figuras foram apresentadas aos alunos e uma a uma e lhes foi indagado sobre o que viam, se conseguiam explicar algum fenômeno ali representado, e quais as dificuldades ou não advindas desta análise.

A primeira ilustração (Figura 3.1) relacionava-se ao experimento de Oersted, da geração de um campo magnético em torno de um fio em que passa uma corrente elétrica:

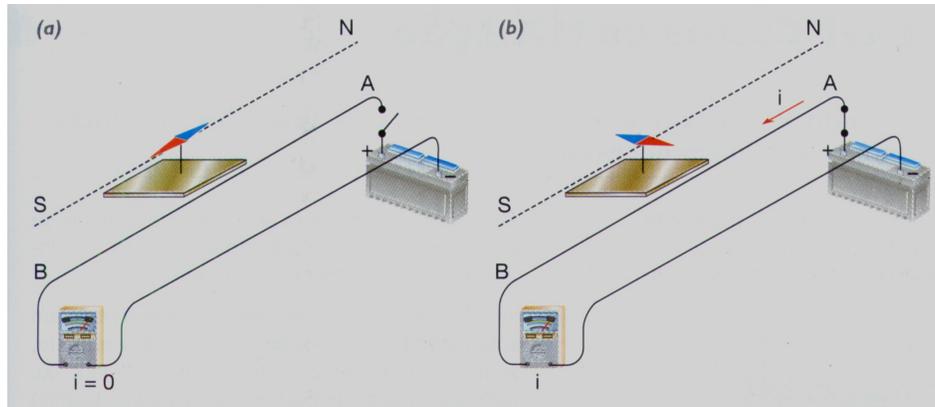


Figura 3.1: Experiência de Oersted (Alvarenga & Máximo, 2000, p.225)

A segunda ilustração (Figura 3.2) relacionava-se a força magnética que age num fio imerso em um campo magnético em que passa uma corrente elétrica:

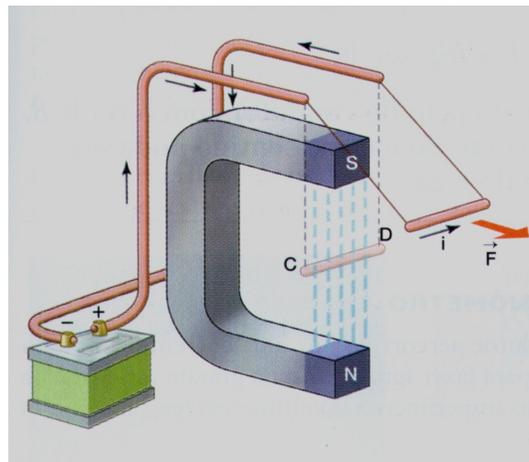


Figura 3.2: Força magnética (Alvarenga & Máximo, 2000, p.237)

A terceira ilustração (Figura 3.3) relacionava-se à indução eletromagnética, de um ímã em movimento dentro de uma espira de fio condutor:

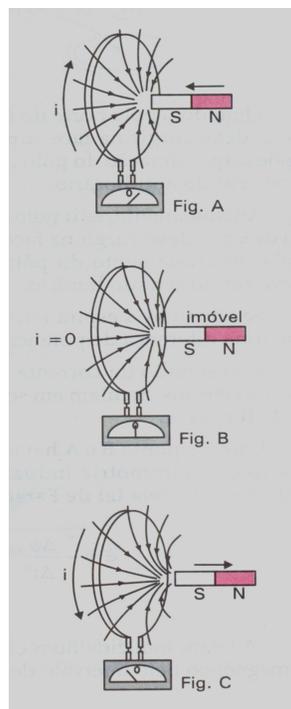


Figura 3.3: Indução eletromagnética ()

Na segunda etapa foram trabalhados os mesmos conceitos relativos às figuras em montagens experimentais, concretas, às quais o entrevistado poderia tocar e ou manusear os equipamentos. Foi então solicitada à explicação do fenômeno eletromagnético oferecido em cada montagem: a relação das variáveis (campo, corrente e força, etc) envolvidas e a aplicação das regras matemáticas.

Depois do aluno fazer previsões sobre o resultados da etapa de gravuras e explicar as razões que o levavam a esperar por tal resultado, era realizado o experimento e por fim, o aluno explicava o acordo ou desacordo entre predição e resultado (Borges, 1996). Segundo White e Gustone (1987), essa seqüência de previsão, observação e explicação é bastante aceita como uma maneira eficiente de produzir informações sobre os modelos mentais usados pelos alunos. A seqüência de indagações em cada atividade começou com questões gerais. Procuramos determinar se os alunos reconhecem os objetos que compõem a atividade, para que servem ou para que são usados, e por que são usados da forma como o são e após são apresentadas indagações que exigem maior reflexão.

3.7. O entendimento dos estudantes: a análise

Em razão das questões levantadas anteriormente e dos objetivos iniciais do nosso trabalho, elegemos três aspectos que foram considerados importantes para análise das entrevistas:

- 1º) o que é que produz magnetismo ou o campo magnético, isto é qual é a natureza do campo magnético;
- 2º) qual a “forma” do campo magnético e;
- 3º) como se dá a interação eletromagnética com outros objetos.

Selecionamos assim alguns aspectos relevantes por nós considerados e, junto, apresentamos trechos das entrevistas de alguns dos alunos, para caracterizar as tentativas de representações.

Para estabelecermos o registro, reproduzimos as falas do entrevistador, indicadas por P, e as respostas dos entrevistados com R. Para diferenciar os entrevistados, a fim de preservar suas identidades, numeramos os mesmos de 1 a 13 na ordem original das entrevistas, sendo que R1, corresponde a resposta do 1º entrevistado, R2 a resposta do 2º entrevistado, e assim por diante.

3.7.1. Protocolo geral das entrevistas:

1) Começamos a entrevista na etapa de gravuras com uma explanação e uma pergunta (para cada uma das três gravuras): *“...vendo a figura, gostaríamos que explicasse a mesma. Na realidade gostaríamos da sua interpretação da figura, o que você está observando na figura?”* Mesmo se o aluno não lembrasse dos conceitos envolvidos, eram solicitados a prever o fenômeno: *Você pode dizer o que pode acontecer, a partir desse desenho?* Também era perguntado sobre o conhecimento anterior do aluno: *“Você já viu isso? De que forma? Em aula no quadro, através de uma atividade experimental?”*

2) A medida que as explicações eram fornecidas no diálogo entrevistado entrevistador, e o entrevistado conseguia manifestar o conhecimento de uma relação entre a corrente elétrica o campo magnético, eram feitas novas perguntas: *“...se você não tivesse estudado antes, conseguiria observar que aí existe um campo magnético? Dá para obter essa informação através da figura?”*

3) Concluindo a etapa de gravuras, passamos a etapa do concreto, onde apresentamos as três atividades experimentais, cada uma delas referentes a cada gravura anterior, e solicitamos a explicação dos alunos: *“...vamos olhar estas montagens. Há alguma relação com as gravuras vistas anteriormente?. Tente me descrever o que tem aqui.”*

4) Finalmente passávamos a conclusão: após a exploração da etapa do concreto, eram indagados a comparar a apresentação da etapa de gravuras, do fenômeno via ilustrações e as atividades experimentais, na seguinte forma: *“O que você acha de diferença do desenho, da diferença de visual destes fenômenos, e da visualização do mesmo na montagem experimental?. Isso aqui facilita ou atrapalha, e o que você acha que facilita ou atrapalha? Qual a diferença entre essas duas coisas?”*

3.7.2. Análise

Num primeiro momento, na etapa de gravuras, podemos perceber, analisando as entrevistas que, apesar de todos os alunos já terem estudado esta parte do Eletromagnetismo, houve uma grande dificuldade na descrição não só do fenômeno físico, mas também da compreensão dos símbolos e desenhos nas figuras apresentadas. Ou seja, a representação gráfica não unificada dos livros didáticos, representa uma dificuldade a mais nas representações dos alunos. Podemos observar esta dificuldade em 11 entrevistados (85%). A título de exemplo, reproduzindo as falas de alguns entrevistados do Ensino Médio ao responderem uma questão geral sobre o que observam na Figura 3.1 (Experiência de Oersted).

R1... é um negócio de pilha e bateria...

R3...a corrente elétrica, a voltagem...

R6...parece uma agulha de uma bússola, talvez um galvanômetro...

R7...eu aprendi sobre isto, mas não consigo dizer somente na figura.

R8... que dá para perceber que o "i" esta passando...tem que pegar um pouco de explicação.

Mesmo o grupo de alunos do Ensino Superior do curso de Física que, a priori, já tem uma bagagem maior de conhecimento, também tiveram, em menor grau alguma dificuldade no reconhecimento dos desenhos, como podemos observar:

R10: ...tá, parece uma agulha de uma bússola, um suporte fixo, onde você tem próximo a ela, você tem aqui um galvanômetro, eu não sei se é um amperímetro aqui, mas é um ...

R11: ...Aqui é um, que se chama um circuito, um circuito simples... a bateria, um multímetro, provavelmente deve estar ligado na corrente, para medir a corrente, a corrente passando. E aqui uma, provável, bússola, ou uma agulha magnetizada. Então, aqui, pelo que se nota, o circuito está aberto, a chave está desligada. E aqui não tem passagem de corrente. No segundo caso, na figura B, nós temos novamente o mesmo circuito, com os mesmos equipamentos, porém, a chave está conectada, a chave está ligada, onde que há uma passagem de corrente.

A descrição das gravuras nos mostra que, o entendimento daquilo que os autores dos livros querem transmitir com as referidas gravuras/desenhos não de fácil entendimento. As dificuldades na articulação de frases explicativas que contivessem alguma consistência teórica foram de difícil obtenção.

Por estar o entrevistador presente e não pelo registro de áudio, há uma tentativa de explicar "as coisas" através de gestos e uso de mãos e braços. O entrevistado procura substituir as palavras por gestos. Isto se confirma quando ocorre a segunda parte da entrevista.

Continuando a análise das figuras, já em relação a criação ou ao aparecimento do campo magnético em torno do fio, 12 (92%) dos entrevistados conseguiram reconhecer a existência de um campo magnético, ou pelo menos o efeito magnético sobre a agulha. Somente um dos entrevistados não conseguiu realizar tal conclusão contudo, novamente apenas pelas gravuras não foi possível para a grande maioria o estabelecimento de uma relação com a corrente nem tampouco a forma deste campo:

R1:...é que quando tem... eu sei a definição de campo, agora não sei se aqui tem, quando tem uma... ,vamos supor, uma carga, só que daí é carga para campo magnético. Quando tem uma carga em movimento ela cria em volta de si um campo magnético.

Novamente o grupo dos alunos do nível superior aproximaram-se do modelo conceitual, mas em nenhum dos casos houve uma abordagem da forma deste campo, como se verifica no diálogo:

R10: aqui, então, passa a corrente, fecha a chave, circula uma corrente aqui no condutor, que vai produzir um campo magnético, nesse...

P: estás me indicando com o dedo, estás passando com o dedo por cima dessa linha aí.

R10: aí vai fornecer um campo magnético e a bússola vai orientar através desse campo magnético produzido pela corrente... se eu não soubesse da regra da mão direita, do Eletromagnetismo, não saberia que ele está em volta do fio. Só iria saber que teve um campo, ou alguma coisa, mas não exatamente.

Após a etapa das gravuras são mostradas as montagens experimentais na etapa do concreto. Quando suscitados a descreverem as mesmas, as respostas foram muito mais animadoras. Muitos conseguiram uma melhor visualização do fenômeno (Exp. de Oersted) além de entender e descrever com mais detalhes os aparatos experimentais. Abaixo algumas respostas:

R1...vendo assim fisicamente a pessoa consegue raciocinar mais que teoricamente. Na verdade quando estava estudando deveria ter experiência de laboratório. Seria mais prático memorizar.

R2...pelo desenho não dá para verificar essa mudança, a influência do campo. Pelo experimento quando eu faço a aproximação...tem uma representação.

R3...no experimento eu posso ligar aqui e ali, no desenho não

Por outro lado também obtivemos através das entrevistas a confirmação de algumas respostas que corroboram uma de nossas hipóteses inicial. Lembramos que uma de nossas hipóteses era que muitas das dificuldades advêm da visualização espacial das interações entre as grandezas físicas e não pelas relações matemáticas que envolvem estas grandezas (lembrando que todos já tinha estudado tais tópicos). A maioria dos entrevistados somente conseguiu observar com clareza a relação tridimensional entre as grandezas quando foi mostrada a montagem experimental. A seguir temos os indicativos:

R1...no experimento, talvez nos eixos, há informação das direções de cada componente...são três dimensões.

R2...nos desenhos é uma situação tridimensional, mas projetada no plano gera dificuldade.

R4...é muito mais fácil imaginar o campo na parte experimental, é três dimensões.

A amostra dos dados obtidos pelo instrumento utilizado é indicadora de que a presente investigação aponta para um diagnóstico mais consistente das dificuldades ou obstáculos de aprendizagem dos fenômenos eletromagnéticos.

3.7.3. Considerações

Em razão destes indicativos, poderíamos inferir que a compreensão significativa dos conceitos de Eletromagnetismo exigiria um ensino diferente daquele que os alunos aqui pesquisados vivenciaram. Seria preciso um ensino que ajudasse os alunos a modelar as leis e conceitos mentalmente e, em

seguida, conseguissem modelar a situação física envolvida, o que certamente viria a facilitar a aprendizagem desses conceitos.

Mas geralmente, não é isso o que ocorre, de modo geral, na prática pedagógica: os conceitos são simplesmente apresentados aos alunos, juntamente com as relações matemáticas e, a seguir, já se parte para a aplicação em problemas. Sequer é devotada atenção ao crucial fato de que é necessário saber como é o campo magnético, e suas implicações, para então enquadrá-lo em uma relação matemática.

As relações funcionais entre as grandezas do Eletromagnetismo, poderiam ser introduzidas através do fenômeno eletromagnético básico que elas descrevem, porém isso não seria suficiente. Seria necessário também ensinar ao aluno técnicas de modelagem física e abstração, por exemplo, que o auxiliassem a construir modelos mentais que pudessem dar significado ao modelo conceitual que lhes foi ensinado. Tais modelos poderiam evoluir para esquemas de assimilação que o aluno acionaria para lidar com situações que envolvessem esses conceitos.

Propusemos assim, identificar as dificuldades dos alunos, que podem se traduzir como obstáculos, e a interpretá-las. Dessa forma, observamos a dificuldade básica, como a maior dificuldade dos alunos: a construção de um modelo mental tridimensional. Os alunos não vão além de percebê-la como um método, ou uma fórmula, para resolver determinado tipo de problema. Na verdade, isso não é surpreendente no contexto do ensino da Física: os alunos tendem a ver a Física como uma ciência "de fórmulas".

3.8. Uma alternativa de ensino para o Eletromagnetismo

Em função das considerações anteriores podemos exprimir que os métodos tradicionais²⁴ de ensino do Eletromagnetismo, parecem estar se

²⁴ Na nossa concepção, a adoção do termo "tradicional", tanto na forma como no método de ensino, não está ligado a um sentido pejorativo ou desagradável mas, sim inveterado, ou seja, como se realizava até então. Assim, não pregamos simplesmente o "abandono" do tradicional, mas sim, que a introdução de uma nova metodologia de ensino implicará, certamente, algumas modificações neste ensino, sendo que algumas atividades serão transferidas ou substituídas por outras.

esgotando como modelos adequados de aprendizagem para os alunos do Ensino Médio, onde outras vertentes também são desprezadas, como a dinâmica tecnológica e a diversidade das relações sociais a que estamos submetidos, tanto nós professores como estudantes. Não devemos assumi-los simplesmente como modelos de ensino a serem seguidos, sem um devido tratamento crítico.

Podemos também considerar que há uma prática pedagógica hegemônica nas escolas de Ensino Médio. Tal prática tem raízes em pressupostos epistemológicos, sociológicos, econômicos e psicológicos e, pode fazer parte de uma rede complexa de interesses e pressões diversas²⁵, fruto de um processo de construção histórica.

Como processo histórico, a reprodução de práticas pedagógicas no Ensino Médio, ao mesmo tempo em que opera uma certa regulação, constitui um obstáculo ao próprio processo de compreensão dos conceitos de Eletromagnetismo, explicitamente no que tange, a sua utilização e aplicação na sociedade atual, onde a tecnologia assume um papel predominante. Assim sendo, a análise crítica dessa prática, na compreensão destes conteúdos no Ensino Médio, constitui uma necessidade para o processo ensino aprendizagem, onde, as mudanças sociais baseadas na ciência e tecnologia sejam consistentes com o momento histórico nas transformações vivenciadas pelos alunos.

Atualmente, como já discutidos anteriormente, para tentar entender o ensino de Eletromagnetismo tal como ele é praticado, é preciso observar que o mesmo está fundamentado em pressupostos tais como: Ciência e Tecnologia ditas “neutras”, ou seja, isentas de valores sociais²⁶; onde considera-se que o conhecimento “adquirido” advém do progresso humano.

²⁵ O conteúdo de Eletromagnetismo é visto na última série do Ensino Médio e, apesar de não ser uma obrigação na metodologia de trabalho, lembramos a cobrança social na preparação para o vestibular que ocorre ao final desta série.

²⁶ Existe uma distinção, que adotaremos, entre *valores cognitivos* e *sociais*. Os *valores cognitivos* são características que as teorias e hipóteses científicas devem ter para o fim de expressar bem o entendimento, eles são atributos que “*representam as propriedades de teorias*

Considera-se também que o conhecimento do professor, que tem uma visão epistemológica própria como veremos com mais profundidade no próximo capítulo, é superior ao dominado pelo aluno; o conhecimento do aluno, quando ele o possui, não é adequado para um modelo científico que, em geral, é armazenado por meio de técnicas de memorização.

Para tentar compreender tais pressupostos deve-se levar em conta as especificidades e implicações dos mesmos e, assim, é primordial, para nós, professores de Física do Ensino Médio, a compreensão de onde a ciência, a tecnologia e suas relações se explicitam no ensino do Eletromagnetismo.

Um ponto importante a ressaltar, é que a habilidade do aluno em explicar e prever eventos e fenômenos físicos evolue ao mesmo tempo em que os mesmos adquirem modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos. *“Tais modelos evoluem com o desenvolvimento psicológico e com a instrução, num processo conhecido como mudança conceitual”* (Borges, 1997, p.8). Um estudo anterior (Driver et alii 1994) acerca de vários tópicos de Ciências mostra a existência de tendências semelhantes na evolução das concepções dos estudantes. Particularmente, o estudo aponta que as concepções dos estudantes tendem a evoluir através da construção de novas representações para a descrição de eventos e fenômenos, e através de desenvolvimento de estratégias de raciocínio.

Outra questão é o que efetivamente ensinamos, como o fazemos e também, como os alunos internalizam aquilo que imaginamos (e não imaginamos) que deva ser aprendido, explicitamente o conceito extremamente abstrato, do campo eletromagnético.

Para trabalharmos estas questões, empregaremos os conceitos de *Transposição Didática* e da Modelização realizada no Ensino de Eletromagnetismo, instrumentos que podem auxiliar para uma maior (e melhor)

que supomos serem constitutivas de uma “boa” teoria – tradução livre (Laudan, 1984:12) – enquanto os *valores sociais* designam as características julgadas constitutivas de uma “boa” sociedade.

compreensão da prática de ensino e do conteúdo "real" ensinado, incluídos aspectos que não são explícitos no tratamento do Eletromagnetismo.

Iremos, dessa forma, examinar alguns aspectos da Transposição Didática, particularmente no que diz respeito à "preparação" didática, na qual o objeto de ensino é originalmente modelado pelo professor. Explicitamente, veremos como um determinado conteúdo disciplinar, um objeto de ensino (o Eletromagnetismo), pode ser estruturado didaticamente de maneiras diferentes.

Tal estruturação por exemplo, pode ser realizada dependendo não só do modo de ver do professor que, utiliza como primeira referência a visão epistemológica empirista no Ensino Médio, mas com uma recontextualização histórica do Eletromagnetismo. Assim, ao tratar o assunto sob esse enfoque, procuramos contribuir para uma maior compreensão do que fazemos como professores de Física, no intuito de desenvolver uma prática de ensino transformadora.

3.9. A Transposição Didática no Ensino de Eletromagnetismo

As pesquisas de ensino de Ciências, nos apresentam várias formas de análise do processo de ensino-aprendizagem. Dentre os diversos conceitos oriundos de tais pesquisas, podemos citar o de "Representação" ou "Concepções Alternativas"²⁷, as noções de "Objetivo-Obstáculo", "Contrato Didático", sendo que utilizaremos em nosso trabalho o conceito de "Transposição Didática".

Usaremos, como referência, o conceito de "Transposição Didática" por entender que ele pode oferecer alguns indicativos para uma melhor

²⁷ Também chamadas concepções espontâneas, idéias intuitivas ou prévias, etc, são estruturas intelectuais individuais, estudadas por alguns autores como Viennot (1979) e Driver (1986) entre outros. Tais concepções são "resistentes" a modificações na construção dos modelos mentais e podem se configurar como obstáculos a compreensão dos modelos científicos.

organização do conhecimento escolar do Eletromagnetismo. Com seus desdobramentos tecnológicos, ensinados nas escolas de Ensino Médio e expressos nos programas e nos livros didáticos, bem como nos materiais em geral que são tratados como didáticos pelos professores e na própria "preparação didática" conduzida pelos professores, ou seja, "*...os professores não se dão conta de que existe uma pequena diferença entre o tratamento dado aos seus apontamentos para as aulas e o tratamento feito pelos livros didáticos mais utilizados.*" (Pinho Alves, Pinheiro & Pietrocola, 2001, p.77)

Chevallard (1985) conceitua "Transposição Didática", como a atividade de se construir um objeto de ensino a partir de um conhecimento ou *saber*²⁸, ou seja, fazer com que um objeto de saber produzido por um cientista seja transformado em objeto de saber escolar.

Desta forma, a Transposição Didática é um processo, onde:

Um conteúdo do saber tendo sido designado como saber a ensinar quando sofre, a partir daí, um conjunto de transformações adaptativas que o levam a tomar lugar entre os objetos de ensino. O trabalho em tornar um objeto do saber a ensinar em objeto ensinado é denominado de Transposição Didática." (CHEVALLARD, 1991, p.39 – tradução livre).

Chevallard (1991) divide o trabalho de Transposição Didática em duas etapas: uma *externa*, referente à seleção dos conteúdos de saber sábio para o saber a ensinar até a chegada na escola; outra *interna*, que se refere à apropriação do conteúdo pela escola e à chegada desse ao aluno.

Na esfera interna, o saber atinge um nível mais próximo do aluno, relacionado com a maneira pela qual ele é transformado em objeto a ser ensinado. Essa tarefa cabe ao professor, que, muitas vezes pressionado pela comunidade escolar, impõe de certa forma a sua visão do processo educativo. O professor, conjuntamente com a escola, decidirá sobre a melhor maneira de

²⁸ Usaremos o termo *saber* em lugar do termo conhecimento, seguindo opção de Pinho Alves (2000). "*Os originais franceses utilizam o termo "savoir" (saber) pois parece traduzir mais adequadamente o objeto do processo transformador da Transposição Didática do que o termo conhecimento (connaissance), que aparenta ser de entendimento mais amplo e vago.*" (Pinho Alves, 2000:218)

ensinar e o que deve ser ensinado aos alunos. Esse conjunto de ações escola-professor determina como a organização do processo de transformação do saber, notando-se assim, segundo Astolfi & Develay (2001), uma epistemologia do professor, que, embora ligada à epistemologia da Ciência, não pode ser com ela identificada.

Na prática educativa, pode ser identificado o conjunto de valores e crenças que conduzem o professor a uma visão pessoal da ciência a ser ensinada. Desta forma, segundo Johsua & Dupin (1993), o ensino da Física tem a dimensão da "física do professor" diferente daquela do físico, decorrendo daí, algumas vezes, as distorções que vão sendo constatadas no ensino escolar.

A fim de definirmos o que a expressão *conteúdo disciplinar* implica, deveremos, entre outras coisas, procurar transformar o saber, no nosso caso os conceitos de Eletromagnetismo e suas aplicações, em objeto de ensino. Isto é posto, pois aqueles conhecimentos não poderiam ser ensinados em seu "estado bruto", ou seja, do modo como foram concebidos e divulgados entre a comunidade científica e os professores pesquisadores.

Para melhor esclarecermos o significado do termo *saber* devemos observar que Chevallard (1991), considera que o conhecimento não é um produto pronto mas uma construção, e descreve a trajetória da sua transformação em três níveis que constituem tipos de saber: o "saber sábio" (aquele de que são detentores e produtores permanentes os pesquisadores universitários e não universitários, cientistas, etc.); o "saber a ensinar" (aquilo que está expresso nos programas, livros e materiais didáticos em geral); e o "saber ensinado" (aquele que ocorre no processo de ensino). A este último compreende o modo como o professor transforma o "saber a ensinar" em estrutura didática (seus modelos pessoais de ensino).

Para nós professores, é importante compreender o que caracteriza cada um desses saberes e os processos envolvidos nas suas transformações.

Com o intuito de que um conteúdo do *saber sábio* de Eletromagnetismo

se torne um conteúdo do *saber a ensinar*, aquele passa por alterações bastante complexas que podem ser caracterizadas por um processo de "descontextualização" (Chevallard, 1991).

Isto significa entender que os objetos que figuram nos programas e nos livros didáticos como conhecimentos a serem ensinados não podem ser compreendidos apenas como simplificações ou decodificações daquilo que foi produzido de forma complexa pela comunidade dos 'sábios'. Na verdade, eles são resultado de um 'preparo' didático que faz com que o saber escolar, embora definido a partir do "saber sábio", seja qualitativamente diferente deste. (PERRELLI, 1996, p.62-63).

Assim,

No processo de Transposição Didática do saber ensinado, o atributo da recontextualização histórica permite criar um cenário didático rico e diversificado. Ao contextualizar a presença de um problema presente na comunidade científica é possível reforçar os comentários relativos aos mecanismos de produção do saber sábio.(PINHO ALVES, 2000, p.273)

Outro processo de tornar o saber sábio em saber a ensinar, é quando ocorre a perda do contexto original de sua produção através de um processo de *despersonalização* (Chevallard, 1991), onde o saber é fragmentado, separado do problema e do contexto que o originou, de forma a reorganizar um novo saber. Já no processo de *dessincretização* (Chevallard, 1991) é retirado todo e qualquer vínculo com o ambiente epistemológico original, configurando-se em um novo contexto epistemológico.

A forma atual de apresentar, pelos professores, o conteúdo do Eletromagnetismo como saber a ensinar não é uma simples simplificação do saber sábio, como podemos perceber:

Os processos de despersonalização, dessincretização e de descontextualização, aos quais o saber é submetido, fazem com que ele seja despido de seu contexto epistemológico, histórico e linguagem própria. Como saber a ensinar é obtido um saber com uma nova roupagem, uma organização a-histórica, um novo nicho epistemológico e de validade dogmatizada. (PINHO ALVES, 2000, p.227)

Assim, propomos apresentar o conteúdo de Eletromagnetismo no saber a ensinar e no saber ensinado comparando os mesmos com a dimensão histórica da produção do saber sábio. Dessa forma, a releitura do Eletromagnetismo realizada no capítulo anterior, traduz-se como uma alternativa de como o saber ensinado possa ser mais bem contextualizado em termos históricos como o saber sábio.

3.10. A experiência, a experimentação e as atividades experimentais

Partindo do pressuposto anterior de apresentar o conteúdo de Eletromagnetismo no saber a ensinar e no saber ensinado levando em consideração a construção histórica da produção do saber sábio, observamos que estes saberes foram construídos fundamentalmente através da experimentação, como observado na relação entre Eletricidade e Magnetismo, através da experiência de Oersted.

Também levamos em conta que, a transposição discutida anteriormente, deverá considerar o processo do desenvolvimento cognitivo do aluno frente aos conteúdos do Eletromagnetismo. Dessa forma nos referenciamos em Richard (1993), onde das diversas formas de conhecimento e estruturas podem ser distinguidas:

- Os conhecimentos sobre objetos: constituídos através de conceitos, sendo este uma entidade cognitiva de base, que associa um sentido as palavras que utilizamos.
- Os conhecimentos sobre situações e acontecimentos: expressa por esquemas que podem ser uma maneira de representar a organização dos conhecimentos na memória.
- Os conhecimentos sobre ações e mais geralmente os procedimentos: tem um aspecto duplo, pois quando pensamos, estamos no estágio de desenvolvimento, dito a execução da ação. Algumas vezes só falamos da ação e não dos procedimentos, na verdade temos uma rede semântica

bastante complexa e estruturada que envolve os dois, armazenados na memória. *“Todos estes conhecimentos têm um conteúdo proporcional: são expressos a partir de estruturas predicado-argumento que são a forma geral da expressão dos conhecimentos com suporte verbal”*. (Richard, 1993, p.59).

Consideramos assim, a hipótese que aparece em pesquisas em Ensino de Física, de alguns autores, como Watts & Zylberstajn (1981) e Driver (1986). Esta hipótese é a construção de representações pelos alunos a respeito dos eventos que ocorrem em sua volta. Essas pesquisas mostram, a partir de uma orientação construtivista, as interpretações dadas pelos estudantes para determinados eventos. Os estudantes possuem concepções acerca desses eventos e ou conceitos como: força, movimento, quantidade de movimento, temperatura etc, diferentes das concepções cientificamente aceitas na atualidade, que interferem no processo de ensino-aprendizagem desses conteúdos. Os conceitos de Eletromagnetismo, em especial o conceito de campo eletromagnético, não foge a estes pressupostos.

Estas concepções que o aluno possui, baseadas nas suas inter-relações com o cotidiano vivencial nos levam ao esclarecimento do uso do termo **“experiência”**: *“a experiência está fortemente ligada ao cotidiano do ser humano, às suas interações mais livres e mais descomprometidas formalmente com o seu entorno sócio-cultural”* (Pinho Alves, 2000, p.150). E também: *“experiência é um conjunto de conhecimentos individuais ou específicos que constituem aquisições vantajosas acumuladas historicamente pela humanidade”* (Rosito, 2000, p.196).

Já o significado da **experimentação** está ligado a um ensaio científico (ou de conceitos científicos objetivando a verificação de um fenômeno físico. Podemos dizer que a experimentação é uma *“interrogação metódica dos fenômenos, efetuada através de um conjunto de operações, não somente supondo a repetibilidade dos fenômenos estudados, mas a medida dos diferentes parâmetros: primeiro passo para a matematização da realidade”* (Japiassu & Marcondes, 1996, p.182) e a *“experimentação é um fazer elaborado, construído, negociado historicamente, que possibilita através de*

processos internos próprios estabelecer “verdades científicas”” (Pinho Alves, 2000, p.150):

Estabelecida esta diferenciação, explicitamos tal como Hodson (1994), que fazer Ciência é diferente de aprender sobre Ciência. Assim, é importante considerar na transformação dos saberes o papel da experimentação no contexto histórico, diferenciando das experiências dos alunos, pois os processos mentais que os mesmos passam nas aulas, são diferentes dos caminhos percorridos pelo cientista na elaboração de conceitos.

Em razão dos argumentos anteriores consideramos que, na prática educacional, o desenvolvimento de aulas experimentais é importante na construção dos conceitos científicos relacionados aos conceitos do cotidiano. Adotaremos, tal qual Pinho Alves (2000), o conceito de “*atividade experimental*”, em que:

Seu papel no contexto escolar é oferecer a oportunidade ao estudante de conscientizar-se de que seus conhecimentos anteriores são fontes que ele dispõe para construir expectativas teóricas sobre um evento científico. Isto significa que a AE deve se constituir de tarefas que permitam gerar uma negociação sobre conhecimento, na constituição de valores coletivos para a construção do saber físico. A atividade experimental deve ser entendida como um objeto didático, produto de uma Transposição Didática de concepção construtivista da experimentação e do método experimental, e não mais um objeto a ensinar (PINHO ALVES, 2000, p.262).

Hodson (1994) também considera que a falta de qualidade nas orientações dos trabalhos práticos de laboratório, como acontece em geral, deixa de proporcionar ao trabalho científico um papel motivador nas atividades dos alunos, sendo necessário transformar as práticas em situações-problema que originam e motivam a investigação, fundamentando as atividades experimentais. Ou seja, é preciso se fazer uma busca histórica e um esforço para elaborar propostas de trabalho que permitam aos alunos, através do auxílio do professor, que é o coordenador e mediador do processo de investigação do problema, alcançar resultados que possam confrontar com os

obtidos pela comunidade científica, levantando novas hipóteses, relacionando e comparando dados, criando novas possibilidades.

Os professores, exaltam a importância das atividades experimentais no Ensino Médio, e apontam dez motivos para a sua utilização, tais como:

1. estimular a observação acurada e o registro cuidadoso dos dados;
2. promover métodos de pensamento científico simples e de senso comum;
3. desenvolver habilidades manipulativas;
4. treinar em resolução de problemas;
5. adaptar as exigências das escolas;
6. esclarecer a teoria e promover a sua compreensão;
7. verificar fatos e princípios estudados anteriormente;
8. vivenciar o processo de encontrar fatos por meio da investigação, chegando a seus princípios;
9. motivar e manter o interesse na matéria;
10. tornar os fenômenos mais reais por meio da experiência (HODSON, 1998, p.6)

As atividades experimentais pertencem ao processo interno de Transposição Didática, que fazem parte dos domínios da escola e do professor. Assim, pode-se dizer que a realização de práticas no ensino de Física é uma decisão da escola, do professor. Apesar de um certo consenso acerca da validade de se realizar atividades experimentais no ensino de Física, seja no sentido de metodologia de ensino para a solução das dificuldades de aprendizagem, ou seja, para a ilustração de um fenômeno discutido teoricamente. Entretanto, esse consenso não existe quando se analisa quem e como de fato ocorrem as atividades experimentais na prática pedagógica, mostrando que não está claro o porquê da sua realização para a maioria dos professores.

Mesmo assim, entendemos que, as atividades experimentais, possibilitam o desenvolvimento de habilidades na construção de gráficos, análise de dados, interpolação, extrapolação, generalização, bem como a

compreensão de condições de contorno necessárias para a utilização dos modelos, de modo que, ao final da atividade, pode ser construído um *modelo teórico* sobre o evento.

Em suma, a atividade experimental deve ser interpretada como um instrumento didático, como o livro-texto ou outro meio a ser utilizado quando do diálogo construtivista entre professor e estudante. Através dela, a negociação se faz presente ao concretizar ambientes didáticos mostrar in loco, a acomodação ou o amoldamento da teoria aos fatos e as limitações teóricas envolvidas. Descarta o dogmatismo e o determinismo teórico que se mostra nos livros-texto, onde a natureza parece se adaptar aos Princípios Físicos e não o contrário. (PINHO ALVES, 2000, p.265)

Em nossa visão, o trabalho com os conceitos de Eletromagnetismo no Ensino Médio, transfigura-se numa proposta que viabilize a sua Transposição Didática para esse nível de ensino. Essa proposta deve ser incrementada com atividades experimentais que permitam a visualização de um determinado fenômeno e a participação efetiva dos alunos durante essas apresentações. As atividades experimentais funcionariam como elemento facilitador do processo de ensino e aprendizagem. A proximidade entre a linguagem formal-científica e a vivência pessoal torna-se viável por meio de características próprias do instrumento.

Finalmente, entendemos que na construção dos conceitos de Eletromagnetismo, a Transposição Didática através de atividades experimentais, deve se alicerçar na História do Eletromagnetismo. Além de mostrar o contexto epistemológico da elaboração do saber sábio, poderá superar os eventuais obstáculos epistemológicos, pedagógicos e à origem de idéias pré-concebidas, possibilitando organizar um panorama didático motivador e significativo.

4. A SEQÜÊNCIA DIDÁTICA DE ELETROMAGNETISMO, UMA PROPOSTA DE ENSINO

4.1. Introdução

A epistemologia, também conhecida como teoria do conhecimento, é considerada um ramo da Filosofia que trata dos problemas filosóficos relacionados à crença e ao conhecimento. Poderíamos considerar também a mesma, ligada ao estudo da evolução das idéias indispensáveis a uma determinada ciência. Desse estudo, faz-se ver os grandes problemas relativos à metodologia, aos valores e ao objeto desse saber, sem vincular necessariamente ao contexto histórico desse desenvolvimento. Assim, podemos considerar uma diferença entre história da ciência e epistemologia dessa ciência. Enquanto a história, a princípio, está ligada a nomes, datas, culturas e contextos, a epistemologia se reporta à formação dos conceitos em si mesmo.

Nesta visão, entendemos *epistemologia do professor*²⁹ como sendo as concepções referentes à disciplina com que trabalha esse professor, advindas de sua compreensão pessoal e que levam a uma parte essencial de sua postura pedagógica, em relação ao entendimento dos conceitos ensinados aos alunos. Becker (1993) assinala que quando se analisa a epistemologia do professor, aparecem crenças enrijecidas pelo tempo, que podem gerar uma visão puramente pessoal sobre a ciência ensinada. Mesmo que haja a intenção de uma permanente aproximação entre a compreensão do professor e a essência objetiva do conceito, é preciso estar atento às possíveis divergências entre esses dois níveis.

²⁹ Nos baseamos nas idéias do livro *A epistemologia do professor - o cotidiano da escola* Fernando Becker (1993) que analisa essa epistemologia do professor no cotidiano escolar. O autor afirma que o pensamento escolar predominante na prática docente é de natureza essencialmente empírica e que normalmente é muito difícil o professor se afastar dessa posição. Esse autor constatou o predomínio de uma visão estratificada e isolada da educação o que leva a uma prática pedagógica fundamentada na repetição e na reprodução. E essas por sua vez são inexpressivas, pois favorecem a cristalização de velhas concepções.

Essas considerações são importantes no que diz respeito a um dos trabalhos do professor, qual seja, o de eleger ou organizar seqüências de atividades que explorem um domínio do conhecimento. Estas seqüências de ensino aparecem, também, como um dos principais objetos de uma transposição fundamentada basicamente na epistemologia do professor.

Por outro lado, para o professor uma das principais fontes destas seqüências continua sendo os livros didáticos e paradidáticos. Parte das revistas científicas, da área de Educação, aborda assuntos voltados para questionamentos teóricos, com uma linguagem acessível a um pequeno público (a comunidade acadêmica). Enquanto, as revistas destinadas aos professores de Ensino Médio e Fundamental abordam as experiências vivenciadas em sala de aula de modo superficial e resumida.

Para romper a reprodução de práticas pedagógicas no ensino de Eletromagnetismo, uma nova transposição poderá caracterizar-se por um esquema experimental baseado em realizações didáticas em classe. Assim, a concepção, a realização, a observação e a análise de seqüências de ensino se caracterizarão como *seqüências didáticas* (Chevallard, 1985).

O nosso trabalho, será propor uma seqüência didática do Eletromagnetismo, subdividida em três atividades. Essa seqüência será assim dividida, pois levará em conta de forma integrada: o domínio dos conhecimentos, os conhecimentos prévios do aluno, o papel do professor e dos seus alunos e, fundamentalmente, a evolução histórica dos conceitos. Tais considerações na elaboração da seqüência visam vencer as hipóteses iniciais e a superação dos obstáculos de construção do saber.

A criação da seqüência didática se concretiza num processo interativo no qual o objetivo é a elaboração de um grupo de decisões para que os processos tenham significados e as estratégias sejam mais efetivas, levando-se em consideração as respostas dos alunos e as condições as quais estão submetidas. Assim, o processo envolve: uma análise da situação proposta, das condições da organização, da escolha de estratégias baseadas nas análises da instrução dada, da determinação de critérios de avaliação, da elaboração de

questões que estejam de acordo com os critérios determinados e uma revisão de todo processo em função desta avaliação.

Altet (1997) interpretando Develay (1992), diz que:

O conhecimento da *história do conhecimento declarativo* a ensinar, das teorias gerais através das quais foi abordada, das suas retificações sucessivas no decorrer dos tempos, *dos obstáculos epistemológicos* com os quais foi confrontada e que gerou, podem constituir úteis referências para compreender melhor as representações dos alunos, as suas dificuldades conceptuais e, se for o caso, conhecer as situações prototípicas que permitiram suplantar os obstáculos. (ALTET, 1997, p.137)

Dessa forma, considerando que os obstáculos pedagógicos dos alunos tem relação explícita com os obstáculos epistemológicos da “descoberta do Eletromagnetismo”, e devido aos modelos limitados presentes nos livros didáticos, corroborados na análise empírica com os estudantes, propomos nossa seqüência didática de Eletromagnetismo.

4.2. A seqüência didática proposta

Em razão do exposto no item anterior (4.1), a seqüência didática deverá estar alicerçada em uma Transposição Didática com contexto histórico do desenvolvimento dos conceitos. A ênfase histórica poderá justificar a superação dos obstáculos epistemológicos transformados em obstáculos pedagógicos. Dessa forma, a seqüência obedecerá a seguinte ordem:

- I) geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica;
- II) ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica;
- III) geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável.

Cada um destes fenômenos permite a elaboração de três atividades experimentais correspondentes que possam possibilitar, numa primeira abordagem, uma visão panorâmica da Teoria Eletromagnética. Assim,

escolhemos como assunto alvo esses três tópicos do Eletromagnetismo e partimos da hipótese de que é possível introduzi-las de maneira significativa.

Essas atividades são desenvolvidas de forma que o aluno passe a ter um conhecimento inicial sobre os conceitos de Eletromagnetismo, explicitamente o conceito de campo gerado por uma corrente, e consiga ao longo do desenvolvimento das mesmas, observar a relação entre as grandezas físicas envolvidas, estabelecendo um *modelo explicativo* para um evento. Para isso, o aluno participa de atividades experimentais, nas quais deverá ficar explícito o que muda em determinado evento e como se processa a mudança.

O esquema experimental da pesquisa consistirá numa seqüência didática recontextualizando o saber físico de Eletromagnetismo, tornando possível acompanhar minuciosamente a evolução dos alunos em termos dos efeitos de uma atividade experimental. Isso é feito através de várias fases com condições típicas, as quais chamaremos de *situações didáticas*, onde a parte qualitativa deve ser privilegiada. Dessa forma, em cada situação da seqüência será necessário uma definição do significado da aprendizagem de determinado conhecimento, visando a superação dos obstáculos de construção do saber.

As referidas situações didáticas são fundamentadas no seu aspecto uni, bi e tridimensional, assim, a *construção/visualização do campo eletromagnético tridimensional* devem ser exploradas a exaustão. Envolvem também semelhanças de objetos aplicadas aos estudos de figuras planas.

A seqüência, por sua vez, consistirá num estudo preliminar que visa caracterizar os *objetivos específicos de cada atividade*, e a *análise didática relativas às atividades propostas*. A *análise didática* (Almouloud, 1997), se preocupa com as variáveis didáticas de situações, os pré-requisitos e a competência. Nesta análise, as *variáveis didáticas* são aquelas que estão à disposição do professor para analisar as situações didáticas durante uma investigação

Em razão destas considerações e definições, apresentamos a seguir, nossa proposta. Esclarecemos que após a aplicação de cada atividade

experimental da seqüência estruturamos uma seqüência didática modelizadora quantitativa através de simulação computacional, que será discutida no capítulo 6.

4.3. As atividades experimentais de Eletromagnetismo

Atividade Experimental I - Geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica.

A base fundamental desta atividade, deverá se concentrar na experiência de Oersted, contudo deve-se dar a devida importância, não só a origem como a configuração do campo magnético. As fotografias a seguir, mostram os passos principais do protocolo que elaboramos. Na execução da seqüência, é de grande importância a discussão da simetria do campo magnético e, assim, poder-se-á ir para a descrição do protocolo da experimentação.

Materiais e equipamentos utilizados:

- Fonte de tensão (pode ser substituída por pilhas);
- Chave de interrupção de circuito;
- Uma “agulha magnética”;
- Uma bússola;
- Um galvanômetro ou micro-amperímetro (de uso vertical);
- Um arranjo de fiação para ser usado em várias posições;
- Cabos elétricos para conexão.

a) Situação 1

Variável didática: Direção Norte Sul.

Objetivo específico: a determinação da direção Norte-Sul.

Comentários: Deveremos utilizar uma agulha magnética e uma bússola. Neste arranjo, a agulha fica paralela a agulha da bússola, apontando para o Norte. A fotografia na página 117 a seguir (Figura 4.1) mostra a montagem experimental.



Figura 4.1: Determinação direção Norte-Sul

b) Situação 2

Variável didática: a relação Eletricidade Magnetismo.

Objetivo específico: mostrar a relação entre Eletricidade e Magnetismo.

Comentários: Aqui devemos discutir a experiência de Oersted, mostrando o comportamento da agulha com o circuito aberto (Figura 4.2a), onde a agulha fica alinhada ao fio, e fechado (Figura 4.2b), onde a agulha fica perpendicular ao fio. Estabelecida a relação entre Eletricidade e Magnetismo, a colocação da agulha, em várias posições em torno do fio é importante para a construção inicial do conceito de campo magnético e, sobremaneira, a inclusão e discussão do componente histórico. Deve-se tentar de todos os meios incentivar o aluno a mostrar a “forma” do campo em torno do fio, de modo a superar o possível obstáculo de visualização tridimensional do conceito.

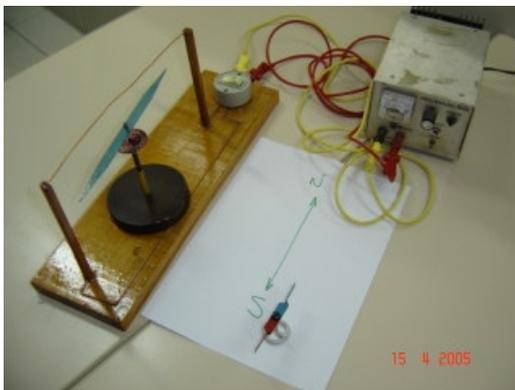


Figura 4.2a: Agulha alinhada ao fio

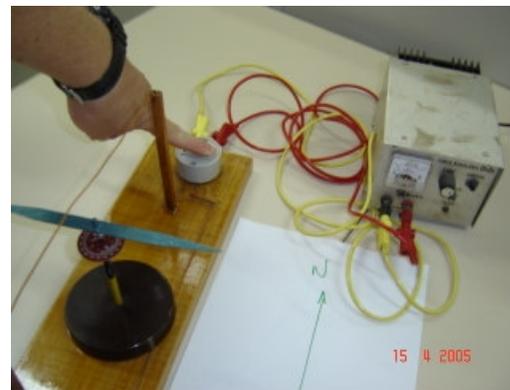


Figura 4.2b: Agulha perpendicular ao fio

c) Situação 3

Variável didática: Campo magnético.

Objetivo específico: mostrar a “forma” do campo magnético.

Comentários: Esta etapa, é importante, pois o fio deve estar disposto na posição vertical (estamos mudando a disposição do fio em relação a experiência original de Oersted). Iremos trabalhar no plano perpendicular ao fio, usando a agulha em várias posições (Figura 4.3a e 4.3b) e também com a ajuda de limalha de ferro, que deverá ser espalhada neste plano.



Figura 4.3a: Disposição (a)

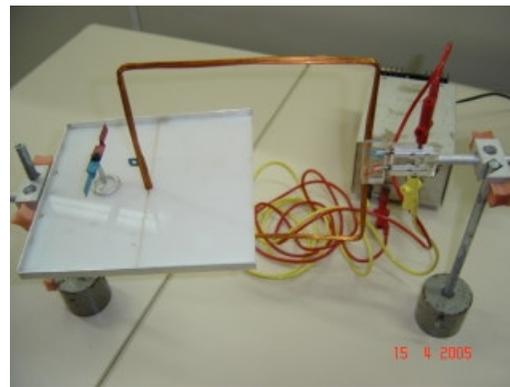


Figura 4.3b: Disposição (b)

O objetivo primordial desta situação deve ser em relação ao campo magnético, discutindo-se que as linhas do campo magnético são circulares, centradas no fio e transitar em todos os momentos o aspecto tridimensional do conceito. Uma discussão que poderá ser realizada, então, é que o sentido das linhas de campo magnético pode ser obtido pela *regra da mão direita* (segurando o condutor com a mão direita, de maneira que o dedo polegar aponte o sentido da corrente, os seus dedos apontarão no sentido das linhas de indução) (Figura 4.4, página 119).

Nesta atividade, a discussão de que o campo magnético produzido pela corrente elétrica em um fio retilíneo depende basicamente de dois fatores: da intensidade da corrente e da distância

ao fio, será retomada e aprofundada na discussão na atividade complementar, a modelização matemática do fenômeno no modelo de simulação computacional, detalhada no capítulo 6.

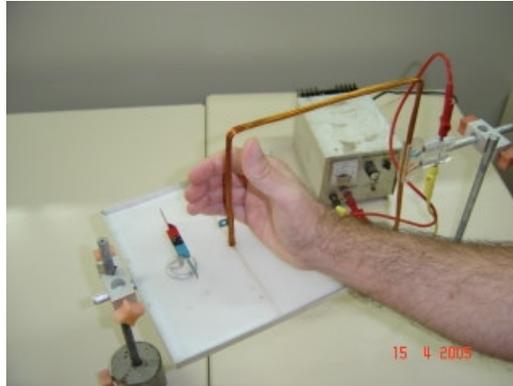


Figura 4.4: Regra da “mão direita”

Atividade Experimental II - Ação de um campo magnético sobre a corrente elétrica

Após a realização da atividade anterior, complementada com a aplicação do modelo de simulação computacional, parte-se para a próxima atividade. Nesta o campo magnético é capaz de agir (exercer forças) não apenas sobre agulhas imantadas mas também sobre condutores percorridos por correntes elétricas. Este é um fenômeno com aplicações práticas significativas e de conhecimento dos alunos.

Material e equipamentos utilizados:

- Fonte de tensão (pode ser substituída por pilhas);
- Chave de interrupção de circuito;
- Ímã em forma de “U”;
- Um arranjo de fiação para ser usado em várias posições;
- Cabos elétricos para conexão.

a) Situação 1

Variável didática: força magnética em um condutor.

Objetivo específico: determinação existência de uma força magnética sobre um condutor retilíneo, onde passa uma corrente elétrica.

Comentários: A montagem experimental (Figura 4.5), é realizada deixando-se um fio “suspenso” dentro do campo magnético de um imã em “U”. A discussão deve ser centralizada na passagem ou não da corrente elétrica, onde a importância dessa primeira parte da atividade, reside na discussão de que o campo magnético tem influência (exerce uma força) sobre um condutor percorrido por uma corrente elétrica. Deve-se explicitar aqui, a importância da discussão sobre a disposição em que o fio condutor esta inserido dentro do campo.

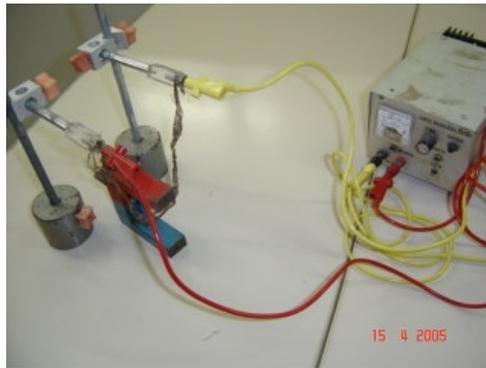


Figura 4.5: Força magnética

b) Situação 2

Variável didática: sentido da força.

Objetivo específico: determinar o sentido da força magnética.

Comentários: Deve-se proceder a discussão da influência do sentido da corrente e do sentido do campo no fenômeno. Nesta parte, deve-se inverter o sentido da corrente que passa pelo fio, e também, o sentido do campo magnético gerado pelo ímã (invertendo-se os pólos do ímã). O funcionamento é mostrado nas Figuras 4.6a e 4.6b (página 121) onde; quando não há corrente, a disposição do arranjo de fios permanece na posição vertical (situação 1); quando a corrente circula em um certo sentido, aparece sobre o fio uma força para a esquerda (assinalada por uma seta na Figura 4.6a); já quando a corrente circula em um sentido oposto, aparece sobre o fio uma força para a direita (assinalada por uma seta na Figura 4.6b). Deve-se ressaltar também a importância nesta parte do aspecto tridimensional do fenômeno.

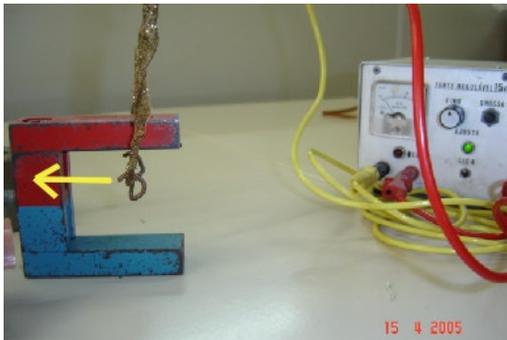


Figura 4.6a: Força para esquerda

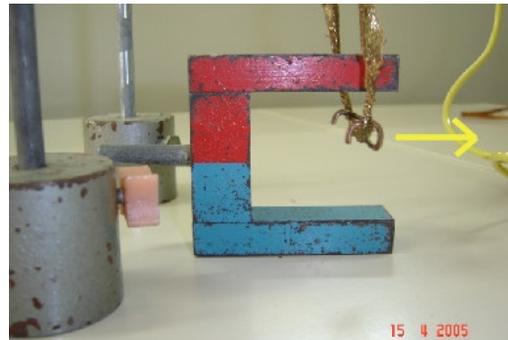


Figura 4.6b: Força para direita

Nesta atividade, explicitamente na situação 3) é primordial a discussão das aplicações deste fenômeno, explicitando a consequência de que a força que um campo magnético exerce sobre um condutor percorrido por corrente pode ser utilizada para realizar trabalho. Duas aplicações obrigatoriamente devem ser discutidas: 1ª) o que ocorre nos motores elétricos (Figura 4.7) que transformam energia elétrica em energia mecânica e 2ª) que essa força também é usada para fazer funcionar uma grande variedade de aparelhos elétricos de medida, como amperímetros e voltímetros.



Figura 4.7: Motor elétrico

Lembramos aqui, que complementar a esta atividade também foi realizada uma atividade de simulação computacional, conforme será vista no capítulo 6.

Atividade Experimental III - Geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável.

Esta última atividade deverá ser realizada, somente após ter-se indicativos fortes da compreensão da “forma” do campo magnético, observados na descrição por parte dos alunos de um modelo mais próximo do científico. Também é importante nesta descrição a percepção, da relação tridimensional com outras grandezas envolvidas (força, corrente, etc.).

Material e equipamentos utilizados:

- Chave de interrupção de circuito;
- Imã em forma de barra ou uma barra de ferro imantada;
- Duas bobinas, uma de poucas espiras, outra com várias espiras;
- Cabos elétricos para conexão.
- Um galvanômetro ou micro-amperímetro (uso vertical);

a) Situação 1

Variável didática: indução eletromagnética.

Objetivo específico: verificar o aparecimento de uma f.e.m. induzida em um circuito, devido a “variação” campo magnético.

Comentários: Basicamente aqui será discutida, utilizando-se a componente histórica, a experiência de Faraday. A atividade consiste na introdução/retirada da barra metálica imantada (movimentando-a) dentro das bobinas (Figura 4.8).

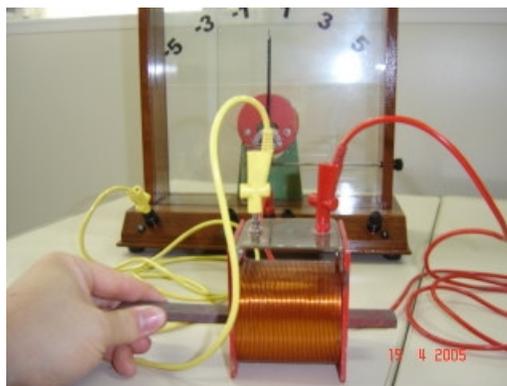


Figura 4.8: Indução eletromagnética

Salientamos a importância da discussão do termo fisicamente errôneo “força eletromotriz”³⁰ que é usada por uma questão histórica.

Notadamente a discussão do fluxo magnético e da própria Lei de Faraday, poderá ser discutida na modelização computacional. Aqui obrigatoriamente, a fim de dar significado a transformação de energia, envolvido na atividade, deverá ser apresentado e discutido uma aplicação da indução eletromagnética que é o gerador de corrente (Figura 4.9).



Figura 4.9: Gerador eletromagnético

Após a realização de cada atividade complementamos a seqüência didática através de simulação computacional, detalhadas no capítulo 6. Com a construção de simulações no computador, tentamos fazer a ponte entre os conceitos estudados, a visualização planejada (na tela do computador) e a análise quantitativa, em que se destaca os equacionamentos possíveis, a forma de controle e os resultados esperados.

A seguir apresentaremos e analisaremos a aplicação desta seqüência de atividades experimentais no âmbito da disciplina de Física, com um grupo de alunos de uma Escola Pública Federal de Ensino Médio.

³⁰ A força eletromotriz é uma grandeza escalar e não está relacionada ao conceito de força em física (grandeza vetorial), mas sim a uma capacidade de um dispositivo (geradores) de realizar um trabalho (fornecer energia) as cargas que passam por este dispositivo.

4.4. Aplicação da seqüência didática

No segundo semestre de 2005, aplicamos a seqüência didática experimental descrita anteriormente com um grupo de alunos de uma Escola Pública Federal de Ensino Médio, com o intuito de verificarmos a confirmação de nossas hipóteses e se nossa proposta era viável de execução em sala de aula.

4.4.1. Organização das atividades experimentais

As atividades experimentais foram desenvolvidas no âmbito da disciplina de Física para o Ensino Médio desta escola, com 3 (três) turmas (A, B e C) da 3ª série, com 25 alunos em média cada uma.

As atividades experimentais foram realizadas no Laboratório de Física da escola. Distribuimos os alunos em círculo em torno da montagem experimental, de modo que todos tivessem o melhor acesso visual.

A seqüência, seguiu o horário estabelecido para as turmas, dividida em duas sessões (duas aulas) de 90 minutos semanais cada. Durante a aplicação, nosso papel foi o de institucionalização do estudo das situações didáticas, tendo a participação do professor da disciplina somente como expectador.

A cronologia completa das atividades experimentais realizadas é apresentada no item 4.4.3 a seguir (página 128), onde concomitante a aplicação da seqüência experimental, eram trabalhados os conceitos, na tentativa de “planificá-los” e relacioná-los. Os alunos observavam e discutiam o fenômeno da montagem experimental em grupo. Individualmente desenhavam ou esquematizavam a atividades em um roteiro³¹, passo a passo, escrevendo as respostas em seguida.

Foram construídos três roteiros, um para cada atividade experimental. Era pedido o desenho ou esquema de cada situação de atividade. Constava um quadro em branco de 15cm de largura por 10cm de altura. Após cada pergunta,

³¹ O apêndice II, apresenta o roteiro tal qual foi aplicado com os alunos. Devido a questão ética, a identificação da instituição foi omitida nas cópias mostradas.

eram deixadas linhas em branco para a resposta dos alunos. A seguir apresentamos os roteiros, onde omitimos os espaços deixados para as respostas.

O roteiro da **ATIVIDADE EXPERIMENTAL I:**

1) Agulha magnética e bússola.

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

Como ficam as duas agulhas em relação a agulha da bússola? Elas apontam para onde?

2) A experiência de Oersted. a) Circuito aberto b) circuito fechado.

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

Qual a relação entre eletricidade e magnetismo? Qual é “forma” do campo em torno do fio?

3) Campo magnético.

3.1) Campo magnético de um fio retilíneo:

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

O que são linhas de campo magnético, como elas são neste caso?

Qualitativamente, quais as grandezas que influenciam o campo magnético criado?

O campo magnético é escalar ou vetorial?

Como podemos saber o sentido do campo?

Descreva a regra para obter o sentido do campo magnético

O roteiro da **ATIVIDADE EXPERIMENTAL II:**

1) Campo magnético de um ímã em “U”.

Desenhe ou esquematize, indicando as linhas de indução do campo magnético para este ímã.

Como são as linhas de indução entre os pólos do ímã analisado?

Como é chamado este tipo de campo

2) Força magnética em um condutor. A) influência da corrente

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

Descreva a atividade experimental realizada:

O que acontece com o fio, quando passa uma corrente elétrica? (aparece alguma força?)

O que acontece quando invertemos o sentido da corrente?

Logo, do que depende a força no fio condutor?

3) Força magnética em um condutor. B) influência do campo magnético

Como está disposto o fio dentro do campo magnético?

O que acontece quando invertemos o sentido do campo?

Logo, do que depende a força no fio condutor?

4) Aplicações do fenômeno estudado

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

Quais as aplicações do fenômeno?

Como seria o comportamento de uma só carga dentro de um campo uniforme? Discussão!

O roteiro da **ATIVIDADE EXPERIMENTAL III** ficou assim elaborado:

1) Indução Eletromagnética. Fio movimentando-se em um campo eletromagnético

Desenhe ou esquematize, indicando as linhas de indução do campo magnético para este imã e, como o fio se movimenta neste campo.

O que acontece quando movimentamos o fio dentro do campo magnético? Como se comporta a diferença de potencial entre os extremos do fio e, neste caso como é chamada?

Como chamamos a corrente que aparece no fio?

O que acontece quando paramos o movimento?

O que acontece com a corrente induzida, quando invertemos o movimento do fio?

2) Indução Eletromagnética. Imã se movimentado dentro de um solenóide

Desenhe ou esquematize, indicando as linhas de indução do campo magnético para este imã e, como este imã se movimenta no solenóide.

O que acontece com a corrente induzida, quando invertemos o movimento do imã?

3) Indução Eletromagnética. Solenóides (bobinas)

Desenhe ou esquematize, indicando as linhas de indução do campo magnético para a bobina.

Há movimento entre as bobinas?

O que fazemos para aparecer a corrente induzida?

Nos três casos anteriores, o que está sendo variado?

4.4.2. Composição das turmas

A fim de termos uma percepção da homogeneidade das turmas, estas eram compostas da seguinte forma:

Turma 3A: Composta por 25 alunos, sendo que 10 (40%) do sexo masculino e 15 (60%) do sexo feminino. Desse total, havia 2 (dois) repetentes e 3 (três) alunos novos (que adentraram diretamente na 3ª série vindos de outros estabelecimentos).

Turma 3B: Composta por 22 alunos, sendo que 10 (45%) do sexo masculino e 12 (55%) do sexo feminino. Desse total, havia 3 (três) repetentes e 3 (três) alunos novos (que adentraram diretamente na 3ª série vindos de outros estabelecimentos).

Turma 3C: Composta por 27 alunos, sendo que 11 (41%) do sexo masculino e 16 (59%) do sexo feminino. Desse total, havia 1 (um) repetente e 4 (quatro) alunos novos (que adentraram diretamente na 3ª série vindos de outros estabelecimentos).

Todos os alunos estavam na mesma faixa de idade (entre 16 e 19 anos). Também não levamos em consideração a origem étnica dos alunos, uma vez que este fator foi considerado irrelevante, todos são brasileiros sem características étnicas marcantes.

4.4.3. Cronologia

A cronologia apresenta as atividades realizadas e o conteúdo explorado. Destacamos que durante os intervalos, entre uma e outra atividade da aplicação da seqüência, foram trabalhados os conteúdos regulares excedentes da série pelo professor da disciplina. Cada atividade experimental era realizada em três a quatro seções, seguidas das atividades informatizadas (vista no capítulo 6).

O cronograma foi elaborado a partir das atividades informatizadas, já que estas exigiam a reserva de horário do laboratório de informática (LANTEC – Laboratório de Novas Tecnologias do Centro de Educação da UFSC). Também nos adaptamos ao calendário da escola em razão dos recessos, feriados, conselhos de classe e período reservado para avaliações e recuperação de

estudos. Nos intervalos entre a realização das atividades experimentais e as atividades informatizadas, o professor da disciplina trabalhava os conteúdos de ótica relativos ao currículo regular da escola. Apresentamos o Cronograma, nos Quadros 4.1 e 4.2 a seguir.

Cronologia		Atividades	Conteúdo
Mês	Dia		
AGOSTO	05	ATIVIDADE I - Apresentação histórica, experiência de Oersted, trabalho qualitativo experimental com discussão do conceito de campo magnético, caracterização vetorial do campo magnético, representação esquemática (iconização).	Campo Magnético, campo magnético de um condutor retilíneo, campo magnético no centro de uma espira circular, campo magnético de um solenóide, influência do meio no valor do campo magnético
	08;10;11		
	12	Informática, Introdução a ferramenta, construção e manuseio dos componentes, trabalho com grandezas - matematização, trabalho com o campo magnético	Conceitos gerais de Mecânica e Eletromagnetismo
	15;17;18	Conselho de classe	Óptica
	19	Informática (continuação). Planificação e construção de um modelo informatizado	Campo Magnético (continuação)
	22;24;25	Exercícios	
	26	Informática (continuação). Planificação e construção de um modelo informatizado	
	29;31;01/9	Exercícios/Avaliação	
SETEMBRO	02	ATIVIDADE II - Apresentação histórica, trabalho qualitativo experimental mostrando a força criada em um condutor, imerso em um campo magnético, percorrido por uma corrente elétrica. Trabalho experimental com dispositivos de aplicação prática: galvanômetro e motor eletromagnético.	Força Magnética em um condutor, força magnética em uma carga elétrica e movimento circular de uma carga em um campo magnético
	05;07;08	Feriado dia 07 (SARE)	SARE e Óptica
	09		
	12;14;15	Continuação (força magnética)	Força Magnética (continuação)
	16	Planificação e construção de um modelo informatizado	
	19;21;22	Relações funcionais entre as grandezas eletromagnéticas. Exercícios	
	23	Planificação e construção de um modelo informatizado	
	26;28;29	Reservado Exercícios e Avaliação	
30			

Aulas previstas no LANTEC 12, 19 e 26 de agosto e 16 e 23 de setembro. SARE (Sistema de Avaliação de Recuperação de Estudos)

Quadro 4.1: Cronograma de Atividades (parte 1)

Cronologia		Atividades	Conteúdo
Mês	Dia		
OUTUBRO	03;05;06	Olimpiadas (sem atividades didáticas)	Óptica
	07		
	10;12;13	Feriado dia 12	
	14		
	17;19;20	ATIVIDADE III - Apresentação histórica, trabalho qualitativo experimental mostrando a força eletromotriz induzida e a lei de Faraday e Lei de Lenz. Aplicações Tecnológicas: Gerador de corrente alternada/ contínua.	
	21		
	24;26;27		
	28		
31;02;03/11			
NOVEMBRO	04	Planificação e construção de um modelo informatizado	
	07;09;10	Relações funcionais entre as grandezas eletromagnéticas. Exercícios	
	11	Relações funcionais entre as grandezas eletromagnéticas. Exercícios	
	14;16;17	Recesso escolar dia 14 e 15	
	18	Reserva, Ondas Eletromagnéticas ou Óptica	
	21;23;24		
	25		
28;30;01			
DEZEMBRO	02		

Aulas previstas no LANTEC 28 de outubro e 04 de novembro (reserva técnica 11 e 18 de novembro).

Quadro 4.2: Cronograma de Atividades (parte 2)

4.4.4. Metodologia de tomada de dados e parâmetros de análise

Analisamos qualitativamente a cognoscência dos alunos a partir de seus modelos mentais representados nos desenhos individuais dos roteiros, pós-realização de cada situação das atividades experimentais. Desta forma, a fim de identificarmos o principal obstáculo da visualização espacial do campo eletromagnético e a tentativa de superá-lo, expresso nos desenhos, classificamos três representações de seus modelos:

Representação (a): vista em perspectiva, ou pelos menos a tentativa do aluno em assim o fazer.

Representação (b): vista de cima.

Representação (c): conjunto vista de cima e perspectiva

A construção dos conceitos do Eletromagnetismo verificou-se a partir dos modelos mentais iniciais dos alunos para um modelo científico, partindo da análise dos desenhos da atividade experimental e a evolução destes desenhos nas atividades subseqüentes. Poder-se-ia questionar que a evolução dos desenhos poderia mascarar a construção dos modelos, devido ao aprimoramento natural dos mesmos em cada atividade. Contudo, esta análise não era única, a medida que as atividades eram desenvolvidas outros pontos de vista eram utilizados como: o desempenho no grupo e participação nas atividades, assim como a compreensão e visualização da mesma.

Considerando que a participação (freqüência) em todas as atividades da seqüência didática é de importância para alcançar os objetivos propostos, nos concentraremos na análise de 27 alunos (36%) que realizaram todas as três atividades, de um total de 74 alunos das três turmas (ver gráfico 4.1a). Nestes termos, realizando todas as três atividades, a turma “C” se destacou com 17 (63%), a turma “A” com 4 (15%) e a turma “B” com 6 (22%) (ver gráfico 4.1b).

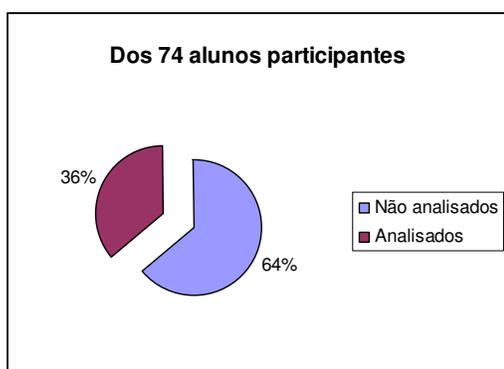


Gráfico 4.1a: Alunos analisados

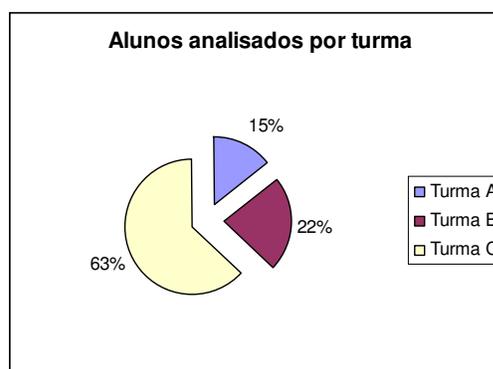


Gráfico 4.1b: Alunos por turma

Excepcionalmente, poderemos nos referir a algum resultado de alunos fora desta grade, mas nesse caso explicitaremos o aluno e quais as atividades que participou.

Os resultados dos alunos analisados foram semelhantes nas três turmas, motivo pelo qual não iremos considerar a influência do processo das turmas em si, mas o desempenho individual.

No intuito de preservar a identidade dos alunos pesquisados para podermos comparar os dados individuais, somente serão referenciados pelas suas iniciais.

As figuras apresentadas na análise foram copiadas por um scanner e por serem feitas a lápis, algumas tiveram de ser reforçadas a caneta para uma melhor visualização na impressão. A impressão das imagens está na escala de 10/8.

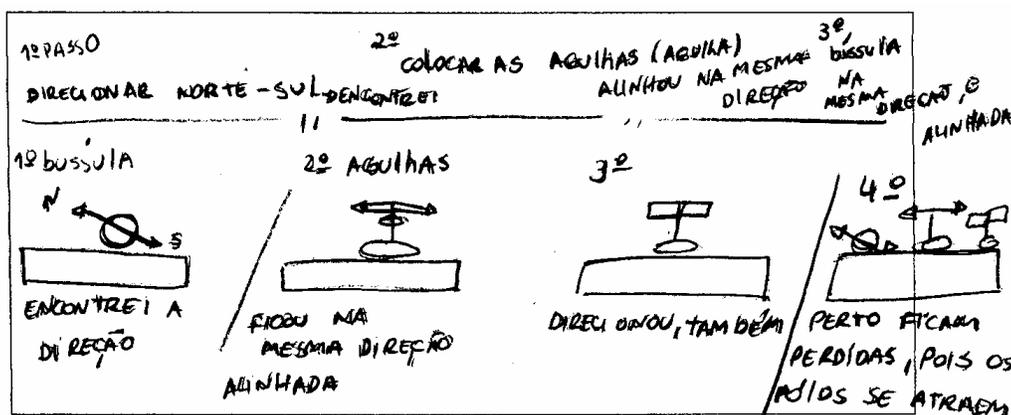
4.4.3. Levantamento dos dados e análise

ATIVIDADE EXPERIMENTAL I

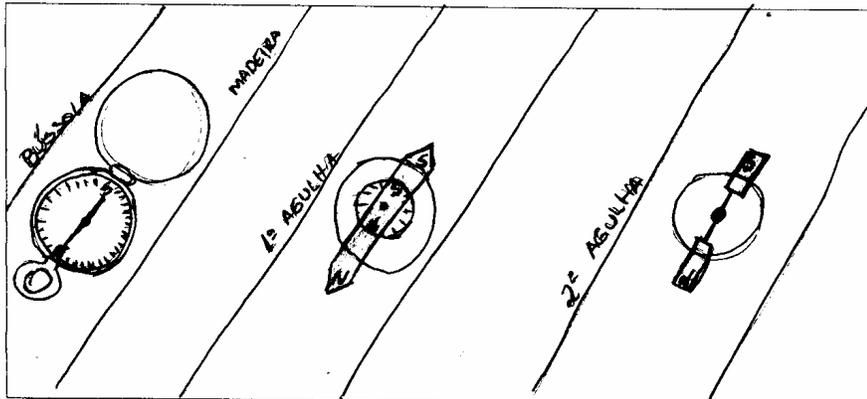
(Situação 1) Determinação da direção Norte-Sul

Nesta primeira situação da atividade, constatamos através dos desenhos a dificuldade inicial das representações, na falta de capricho de suas linhas, na tentativa da maioria dos alunos em escrever junto aos desenhos e na diversificação das representações. Essa dificuldade, a principio, traduziu-se como um obstáculo, contudo somente em relação a realização do desenho em si, pois foi facilmente superada na compreensão do estabelecimento da direção da agulha em relação ao Norte Sul do campo magnético terrestre.

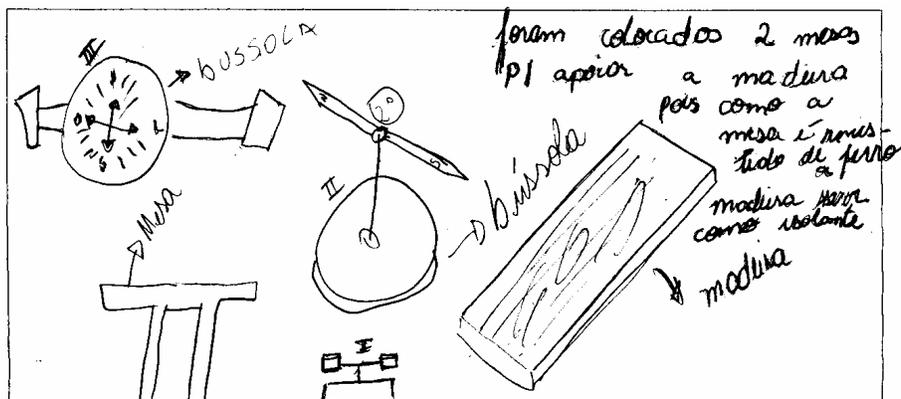
Tivemos 8 alunos (30%) na representação (a). Como exemplo mostramos a reprodução do desenho de ASO:



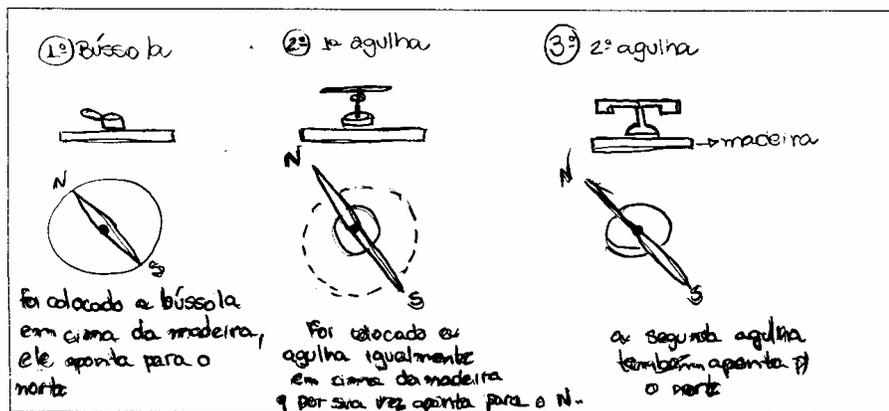
Tivemos somente 2 alunos (7%) na representação (b). Como exemplo mostramos a reprodução do desenho de CCL:



Por fim, a grande maioria dos alunos, 17 (63%) na representação (c), onde exemplificamos com a reprodução do desenho de BVS:



Com MJA, classificado na representação (c), observou-se uma situação bastante peculiar, o desenho de ambas as vistas, destacando-se a vista de cima, para representar o alinhamento das agulhas:



O gráfico 4.2, a seguir, mostra a distribuição percentual de classificação para esta situação. Vemos a distribuição das representações, com uma concentração maior na representação conjunta de várias vistas que é devido, ao nosso ver, a uma dificuldade inicial da elaboração dos desenhos do que na compreensão da variável didática direção Norte Sul. Também vemos o pequeno percentual na representação (b) – vista de cima – que será uma das representações predominantes na seqüência informatizada, que veremos no capítulo 6.

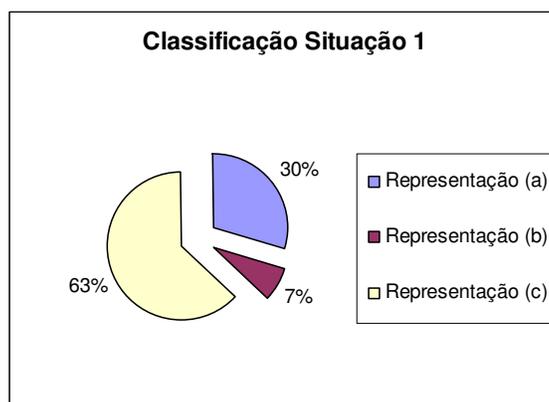


Gráfico 4.2: Classificação Situação 1 (I)

A superação deste obstáculo contudo, pode ser constatada nas respostas desta situação, onde todos os alunos identificaram de forma satisfatória a variável didática direção Norte Sul da Terra. As comparações das vistas puderam ser constatadas na discussão entre o professor e os alunos, assim como entre eles. Tal discussão foi fundamental na superação dos obstáculos. Vemos tais constatações em algumas respostas do roteiro:

AA: As duas agulhas repetem o que se sucedeu com a bússola, apontando para o norte e o sul, onde a madeira estava colocada.

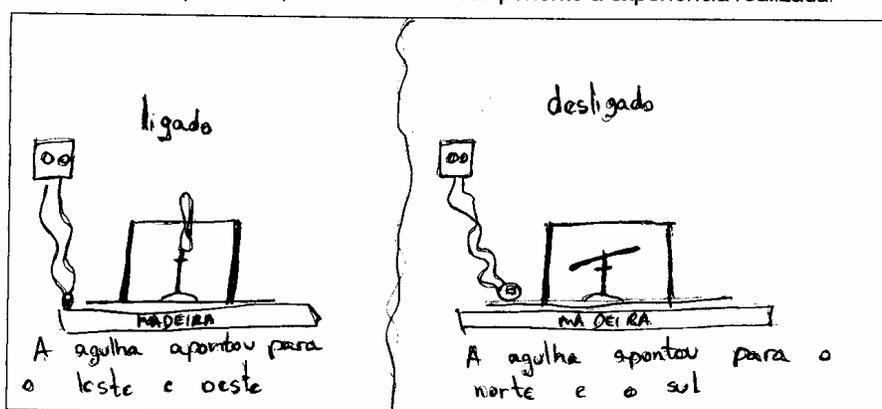
MCO: As duas agulhas ficam paralelas em relação a bússola, apontando para a região norte sul nas extremidades.

(Situação 2) Relação Eletricidade Magnetismo

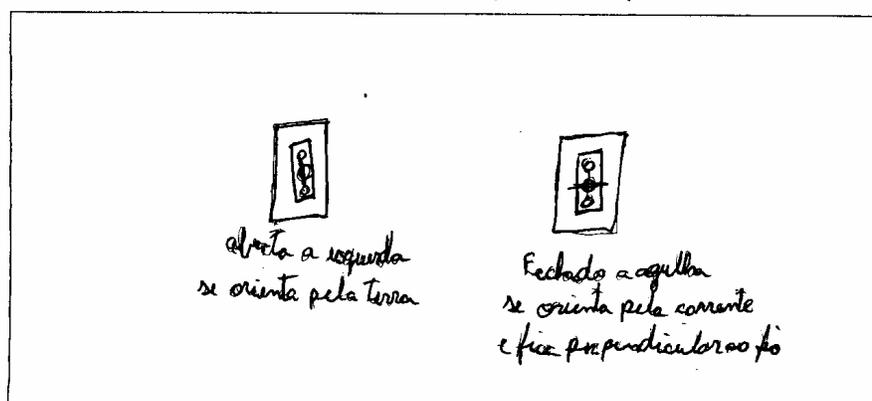
Na segunda situação da atividade os desenhos ainda continuaram a ser realizados com pouco esmero e a insistência geral de escreverem nesses

desenhos. Contudo percebemos uma nova dificuldade, podendo se traduzir como um obstáculo pedagógico, que foi a tentativa de desenhar uma situação dinâmica, o movimento da agulha magnética. O fato de a grande maioria dos alunos optar por uma única representação, foi para nós um resultado inesperado, pois exatamente já tínhamos começado a discutir a comparação de várias vistas do fenômeno durante a realização da atividade. Tais constatações são expressas a seguir.

A quase totalidade dos alunos, 26 (96%), desenhou na representação (a). Como exemplo a reprodução do desenho de AA:



Nenhum aluno desenhou na representação (c), e somente 1 aluno (4%) - TC, desenhou na representação (b):



O gráfico 4.3, a seguir (página 135), mostra a distribuição percentual da classificação das representações para esta situação. Este gráfico nos mostra o fato de que a quase totalidade dos alunos (96%), optaram por uma única forma de representação, a (a). Poderíamos inferir assim, a configuração de

um obstáculo na elaboração dos desenhos pois, em relação a situação 1, nesta começamos a trabalhar com uma atividade dinâmica (o movimento da agulha) e a posição que esta assume em duas situações (corrente ligada e desligada). Por outro lado, poderia nos indicar que os alunos estarem se “acostumando” ou “aprendendo” simplesmente a desenhar. Contudo veremos que esta conclusão é invalidada nas próximas situações.

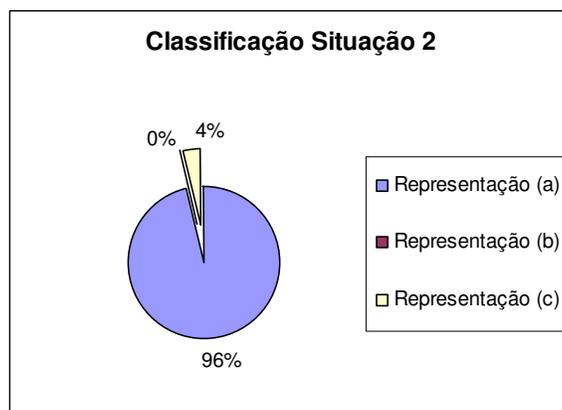


Gráfico 4.3: Classificação Situação 2 (I)

Consideramos, no entanto, que esta última inferência não é significativa em relação ao questionamento da variável didática, relação Eletricidade e Magnetismo. A maioria dos alunos descreveu esta relação de forma satisfatória, já que esta é praticamente uma constatação. O linguajar ainda é cientificamente impreciso, pois os alunos estão começando a construir o seu modelo. Os alunos também começam a perceber além da existência do campo em função da corrente elétrica (circuito ligado e desligado), a “forma” circular do campo magnético. Notamos tal constatação nas seguintes afirmativas sobre a existência da relação:

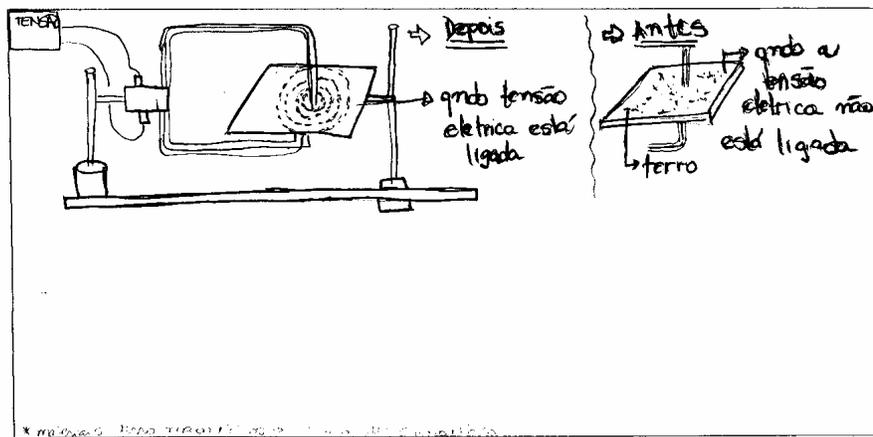
ASO: Sim, existe. A eletricidade influencia, notamos quando ligamos a bateria e a agulha ficou se movimentando até ficar perpendicular. A forma está em volta do fio. Circular.

CCL: Existe relação. Campo magnético envolve o fio (por todos os lados, circular)

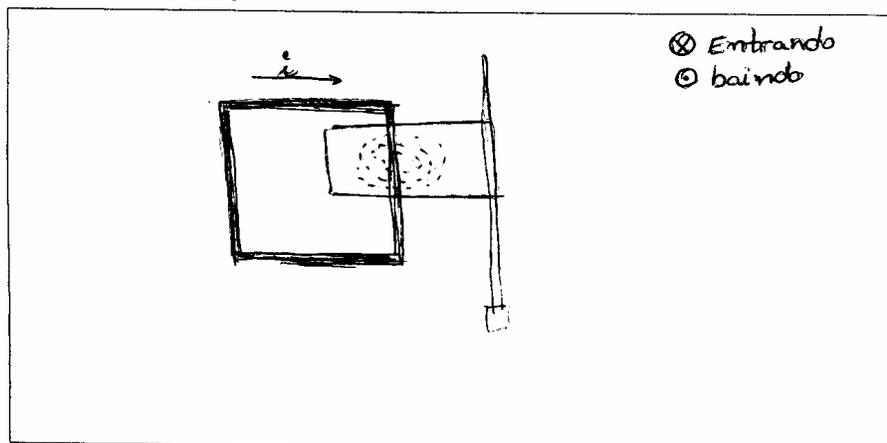
(Situação 3) Campo Magnético

Nesta situação, identifica-se explicitamente o maior obstáculo, a complexidade na planificação da atividade experimental, que ficou evidente, com um número significativo, 6 alunos (22%), que não fizeram o desenho. Mesmo assim, 20 alunos (74%) desenharam na representação (a), onde tivemos uma subdivisão, ou seja, 12 alunos representaram satisfatoriamente a perspectiva com riqueza de detalhes.

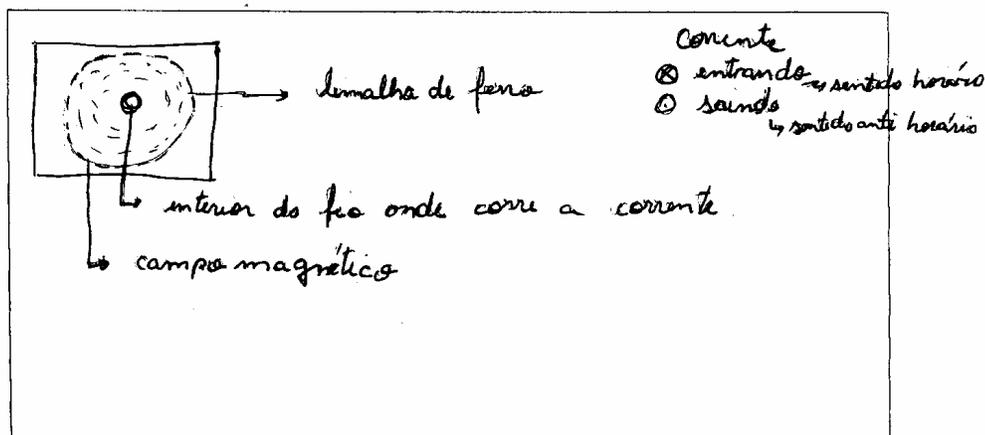
Podemos exemplificar a afirmativa anterior, na reprodução do desenho de MJA:



Já 8 alunos, representaram de uma forma bastante simplificada, tal como na reprodução do desenho de ACV:



Somente 1 (4%) aluno, TOL, desenhou na representação (b):



Os gráficos 4.4a e 4.4b, a seguir, mostram a classificação da situação 3, a dificuldade da representação (desenho) devido a abstração do conceito de campo. No gráfico 4b, mesmo os alunos que realizaram os desenhos, 40% o fizeram de forma bastante simplificada.

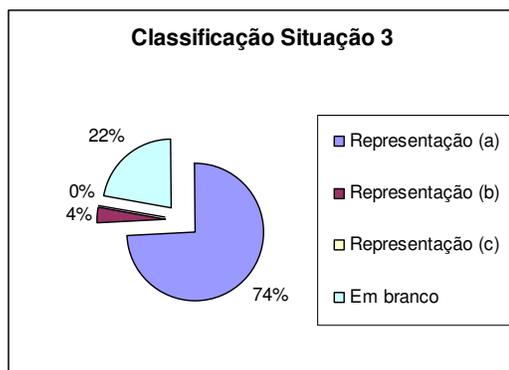


Gráfico 4.4a: Classificação Situação 3 (I)

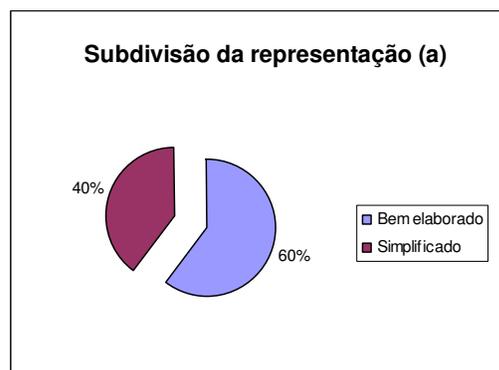


Gráfico 4.4b: Subdivisão (a)

A planificação da variável didática campo magnético apresentou dificuldades, reforçando o maior obstáculo, não só pela utilização de figuras planas para representar a forma espacial, mas principalmente o campo, que exige uma significativa abstração. Contudo, a compreensão do campo magnético, através da linguagem escrita, apresentou uma aparente superação deste obstáculo. Ilustramos tal constatação, com algumas respostas:

ASO: ...notamos, quando ligamos a bateria, e a agulha ficou se movimentando até ficar perpendicular. A forma está em volta do fio (circular).

CCL:...campo magnético envolve o fio (por todos os lados, circular).

JMC:...a eletricidade forma o campo elétrico, que desorienta as coordenadas da bússola. A forma do campo eletromagnético ao redor ou circular ao fio elétrico.

MJA:...as linhas de campo em torno do fio são circulares...

Poderíamos assim inferir, que os alunos que apresentaram as noções mais elaboradas da amostra conceberam satisfatoriamente a concepção do campo após uma qualificação da representação espacial. Ou seja, a visualização do fenômeno apresentado não fez necessariamente os alunos compreenderem ou descobrirem o que o provoca, mas poder-se-ia dizer que os predispõe entender o que acontece.

Notamos aqui também, através da resposta anterior de JMC, uma dificuldade na diferenciação de modelos, isto é, o modelo de campo elétrico trabalhado nas aulas curriculares anteriores a aplicação da seqüência pelo professor da disciplina e o modelo magnético. Os conteúdos de Eletrostática valorizam representações do campo elétrico e estes por sua vez, são levados pelos alunos para o Eletromagnetismo. A noção de um corpo eletrificado, que tem o objetivo de explicar a existência de pólos distintos é transportada aos objetos magnetizados, levando à idéia de que todos os condutores elétricos são atraídos por um ímã.

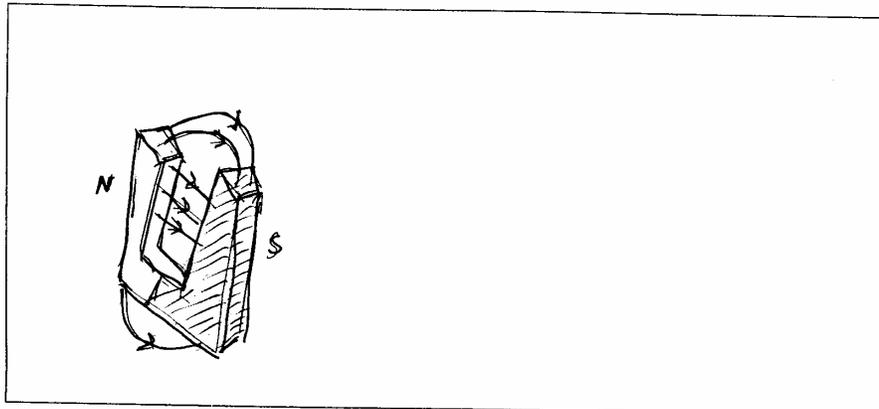
A Atividade Experimental I, apesar de ser a primeira atividade proposta, mostrou-se bastante reveladora em razão da novidade. Na evolução das situações, foi observado um capricho maior nos desenhos, assim como uma tentativa maior dos alunos de escreverem nos desenhos, indicando as ações das atividades. Também devemos destacar aqui que a interpretação desta primeira atividade não teve influência da simulação computacional, que veremos no capítulo 6, onde explicitaremos tal seqüência, que irá complementar a nossa análise.

ATIVIDADE EXPERIMENTAL II

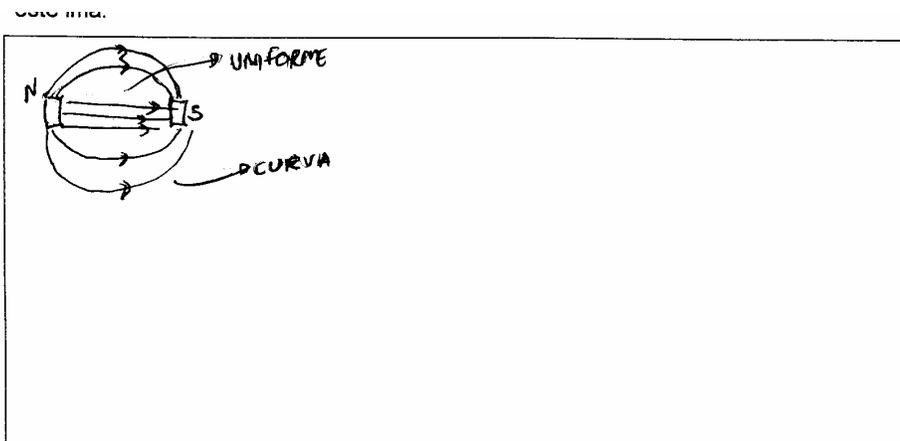
Esta segunda atividade foi realizada após a seqüência de simulação relacionada à Atividade Experimental I narrada no capítulo 6, contudo, a princípio, não consideramos influência desta na Atividade Experimental II.

Iremos seguir a mesma classificação usada na Atividade I e, apesar de não se constituir numa variável didática previamente escolhida, consideramos o estudo das linhas de indução do imã também como uma variável didática (ver roteiro da Atividade II). A avaliação desta nova variável, no primeiro item desta atividade nos mostrou informações relevantes, até porque a princípio, os alunos já deveriam conhecer e utilizar a configuração de linhas de indução. A dificuldade adicional de desenhar, além do imã as linhas de indução tridimensionais no plano do papel, é indicada nas reproduções a seguir.

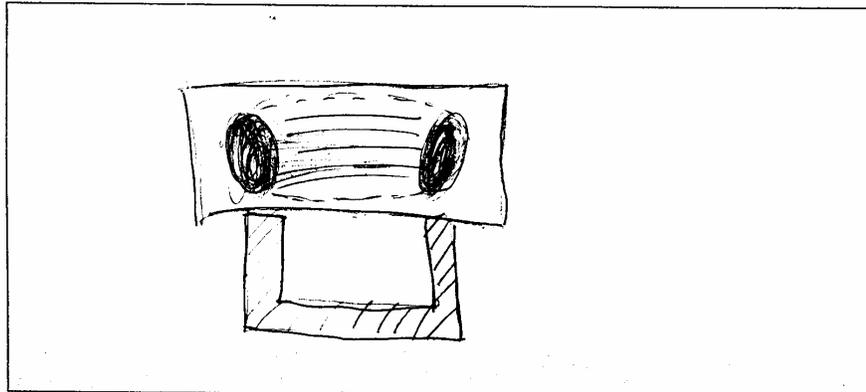
Tivemos 8 alunos (30%) realizando a representação (a), tal como BFA:



Já a representação (b), subdividimos em duas: (b1) o desenho de uma só vista, propriamente dito, no caso, identificamos 11 alunos (40%) e usamos como exemplo a reprodução do desenho de ASO:

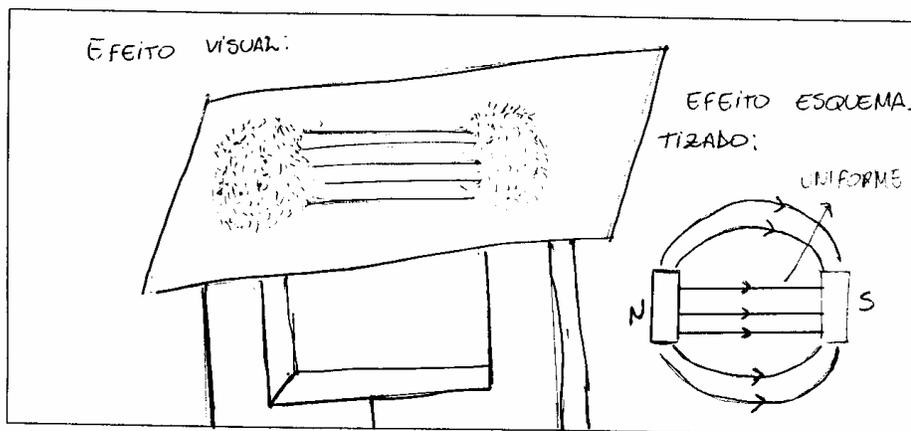


E (b2) a representação conjunta, de lado e de cima, identificamos 7 alunos (26%), exemplificando com a reprodução do desenho de RQG:



Constatamos novamente aqui, apesar da “compreensão” do campo magnético, através da representação das linhas de indução, uma considerável dificuldade na elaboração das representações, contudo, nesta última representação, houve uma tentativa de vencer este obstáculo através de um desenho composto de duas vistas, o que não foi utilizado na primeira atividade.

Nesta atividade, somente 1 aluno (4%), DSP, realizou a representação (c):



Esta última representação, apesar de isolada, mostra-nos um modelo, percebido na maioria dos alunos em que a ação dos ímãs se manifesta dentro de uma região limitada de influência. Ou seja, os objetos (no caso a limalha de ferro), dentro desta região são atraídos, enquanto que objetos que não são atraídos estão fora do alcance do ímã, isto é do campo magnético. Os alunos

referem-se ao padrão de limalha de ferro espalhada em torno de um ímã como o campo magnético dele. O campo magnético é descrito, evidenciado nas discussões com os alunos, como uma nuvem ou como uma atmosfera envolvendo os corpos magnetizados.

O gráfico 4.5, a seguir, mostra a distribuição percentual desta classificação:

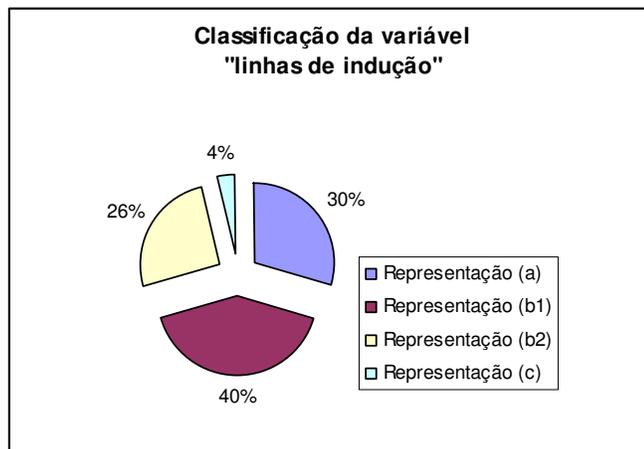


Gráfico 4.5: Classificação "linhas de indução"

A distribuição heterogênea das representações desta nova variável, mostrada no gráfico 4.5, pode nos indicar que os alunos ao "transitarem" satisfatoriamente nas três representações, conseguem "enxergar" o campo magnético de forma tridimensional.

Contudo o obstáculo da concepção de linhas de indução não foi facilmente superado. Isto é constatado, em relação ao questionamento desta nova variável didática. A maioria dos alunos também respondeu a indagação: como são as linhas de indução magnética nesta atividade?, de forma taxativa e simplificada, como podemos verificar na resposta:

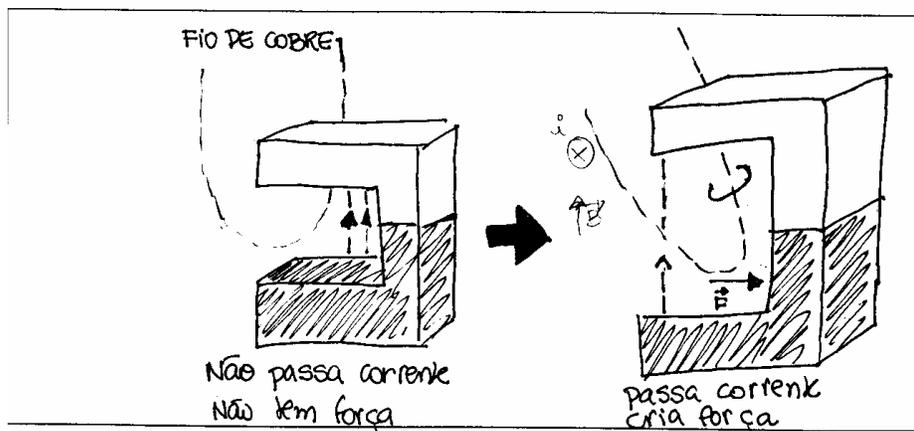
AA: linhas retas

Mas também, alguns exprimiram de forma mais elaborada, com pode-se ver na afirmativa:

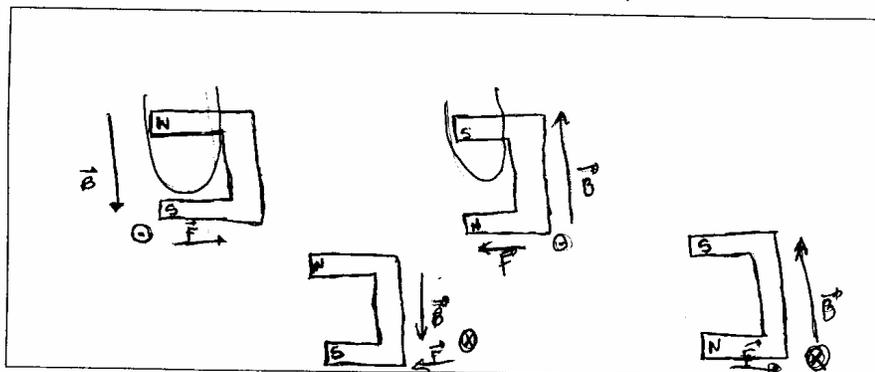
ACV: Elas saem de um pólo e vão para o outro em todas as direções.

Como a grande maioria dos alunos representou no mesmo desenho as situações 1 e 2, analisaremos as mesmas em conjunto. A grande maioria dos alunos construiu representações mais elaboradas, com riqueza de detalhes. Nota-se que em relação as representações das atividades anteriores, as informações escritas nos desenhos diminuíram, ao nosso ver pela utilização a partir de agora de ícones. Podemos observar estas constatações nas representações a seguir.

A representação (a), foi realizada por 10 alunos (37%), exemplificado na reprodução do desenho de MJA:



A representação b) foi realizada por 17 alunos (63%), tal como a reprodução do desenho de ACV:



O gráfico 4.6 a seguir (página 143), nos mostra a comparação percentual destas representações e que nenhum dos alunos realizou a representação (c):

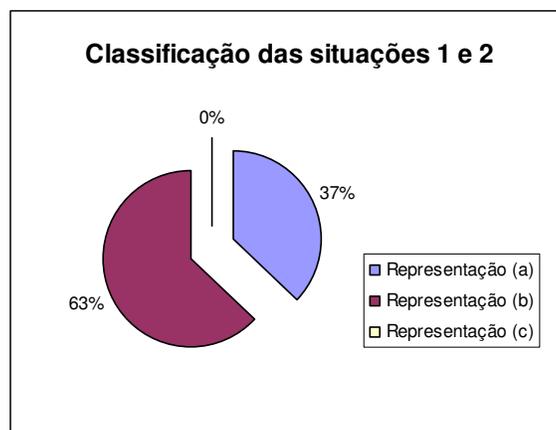


Gráfico 4.6: Classificação Situação 1 e 2 (II)

Dois aspectos merecem ser destacados. Primeiramente da situação 1 para a situação 2 da atividade, foi discutida a representação icônica do campo magnético, entrando (símbolo \otimes) ou saindo (símbolo \odot) do plano, o que facilitou a representação dos alunos. Em segundo lugar um aprimoramento nos desenhos, que foram realizados na sua grande maioria com vários detalhes.

A relação tridimensional entre a orientação da corrente e os vetores força e campo magnético, que costuma ser trabalhada através de regras práticas (regras da mão direita ou esquerda), pode ser exaustivamente verificada, o que facilitou a visualização destas mesmas regras no plano.

É interessante notar que a atividade experimental envolveu ainda conceitos de equilíbrio dos sólidos tais como centro de gravidade, momento de uma força e binário.

Também na transição destas atividades, o viés histórico foi importante, pois contextualizamos uma nova variável didática na identificação das forças de origem magnética. Discutimos o modelo de ação dos campos, mas consideramos também o modelo newtoniano "modernizado", pois como vimos no capítulo 2 (página 51), para Newton não havia conceito de campo. Seu modelo original, de origem gravitacional, tratava de forças de ação à distância.

Destaquemos três pontos no desenvolvimento destas atividades: (1) Reconhecimento do fato (efeito da corrente elétrica na orientação da bússola), (2) enquadramento do modelo físico que se adapta à situação e o (3) reconhecimento histórico, salientando um modelo que sofreu melhorias no decorrer do tempo, graças à própria evolução das concepções humanas.

Estas considerações também podem ser observadas, na evolução das afirmativas, vistas no quadro 4.3.

Anterior (situação 1)	Posterior (situação 2)
<i>AA: ...o fio que está no campo magnético (entre os pólos do imã) é atraído devido a força eletromagnética.</i>	<i>AA:...o fio, que estava entre os pólos do imã..., ao ser "ligado", ou seja, quando começou a passar corrente elétrica, o fio se aproximou do imã havendo uma força sobre o fio.</i>
<i>MCO:...é gerado uma força de origem magnética...</i>	<i>MCO:...dentro de um imã em forma de "U" é colocado uma malha de cobre. Quando se passa uma corrente pela malha de cobre é gerado uma força pela interação dos campos.</i>

Quadro 4.3: Evolução das afirmativas

Como vimos no capítulo 2, para Bachelard, no progresso epistemológico a superação de um conhecimento permite recobrá-lo sob uma nova perspectiva. Em Piaget, cada etapa do desenvolvimento representa ao mesmo tempo uma superação e uma conservação de etapas anteriores. Vimos que para ambos, o progresso se dá no sentido de uma crescente *objetivação*.

Logo, à medida que o conhecimento dos alunos sobre o campo magnético se expandiu, eles assimilaram o novo conhecimento aos seus modelos, resultando em modelos mais sofisticados que os iniciais. Assim os alunos partem de um modelo simples de Eletromagnetismo, baseado na observação das atividades e conforme o seu desenrolar, os representam de uma forma mais elaborada. As atividades propostas, forneceram informações sobre como evoluiu o conhecimento dos alunos acerca dos fenômenos eletromagnéticos.

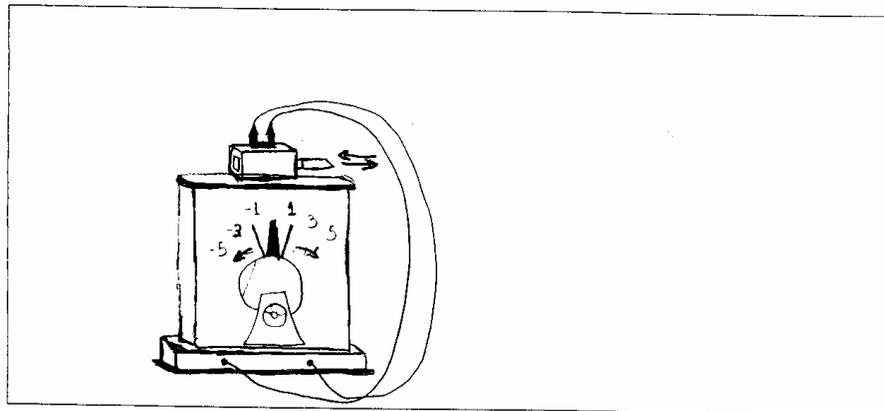
Destacamos também sobre este prisma, a discussão das aplicações do fenômeno, principalmente nos motores elétricos. A visualização do funcionamento do mesmo foi importante na construção do novo modelo. Esta análise do Eletromagnetismo vinculado ao cotidiano, ficará mais clara no próximo tópico.

ATIVIDADE EXPERIMENTAL III

A última atividade desenvolvida, também foi realizada após a seqüência didática de simulação computacional da atividade anterior, vista no capítulo 6. Esta atividade foi a que apresentou a maior dificuldade nas representações. Fato atribuído por nós ao uso de aparelhos de medida (o galvanômetro) que, ao nosso entendimento, desviou a atenção para o desenho dos detalhes do mesmo e não ao experimento em si. As dificuldades também se fazem presentes na limitação da representação estática de um fenômeno essencialmente dinâmico.

O conjunto experimental que apresentamos e trabalhamos, o fenômeno da indução eletromagnética, constou de duas bobinas (uma de algumas espiras e outra de várias espiras), ligada a um galvanômetro e de uma barra de ferro imantada.

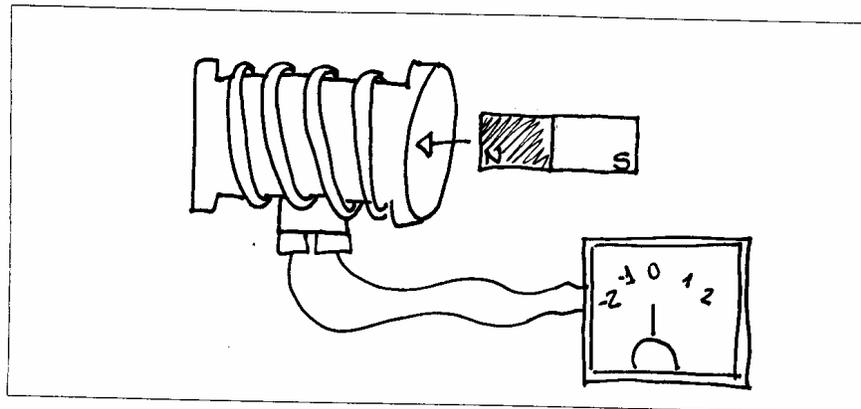
Temos aqui somente uma variável didática, a indução eletromagnética, e constatamos que apenas 4 alunos (15%) usaram a representação (a), tal qual a reprodução do desenho de CCL:



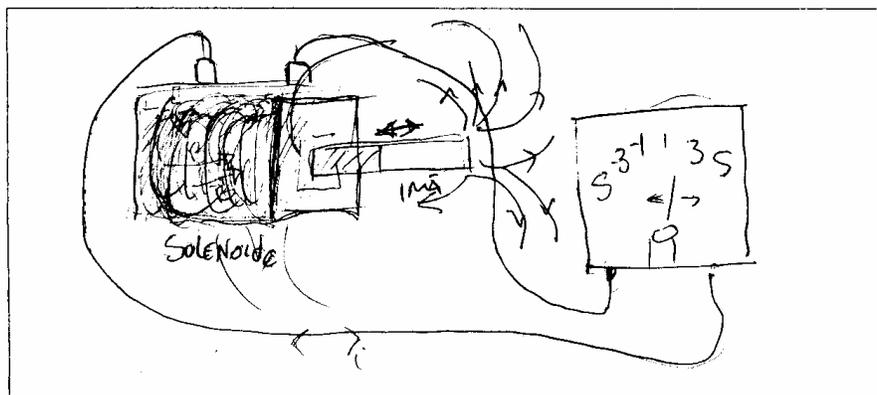
Podemos verificar na representação, a tentativa de indicar o movimento,

tanto do ímã dentro das espiras como o ponteiro do galvanômetro, pelo desenho de setas.

A grande maioria dos alunos, 23 (63%), realizaram a representação (b), apesar de apresentarem em seus desenhos, vários aspectos da atividade, vemos como exemplo a reprodução do desenho de MJA:



Somente um dos alunos, STL, representou as linhas de indução:



O gráfico 4.7, mostra a distribuição comparativa destas representações, assim como indica que nenhum aluno realizou a representação (c):

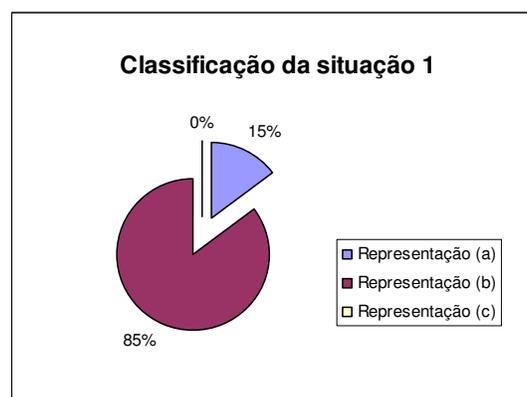


Gráfico 4.7: Classificação Situação 1 (III)

Todas as respostas do questionário roteirizado foram satisfatórias, contudo, chamou a atenção, uma conclusão equivocada da maioria dos alunos em relação a pergunta: O que acontece quando movimentamos o fio dentro do campo magnético? Como se comporta a ddp entre os extremos deste fio, e neste caso como é chamada?

Destacamos uma das respostas:

*MEL: Aparece corrente. **A ddp é sempre a mesma (constante)**, chamada de força eletromotriz.*

Apesar de todos os alunos observarem a variação da corrente com o movimento do imã, a grande maioria atribuiu erroneamente à “ddp uma constância”. Tal obstáculo só pôde ser transposto, após o estabelecimento de uma relação quantitativa entre tais grandezas, pois a simples constatação qualitativa os induziu ao erro.

Também foi verificado, através da atividade, as aplicações práticas do fenômeno. Uma espira girante disposta convenientemente num campo magnético e possuindo um sistema comutador elementar, que permite ou não a passagem da corrente elétrica. Esta montagem mostra o princípio de funcionamento de um gerador elétrico de corrente contínua. O interesse dos alunos foi bastante significativo, no que tange, a observações dos conceitos de Eletromagnetismo envolvidos na atividade em relação a geração de energia.

A partir desta aplicação prática, na medida em que a visão do eletromagnetismo vinculado à aplicações do cotidiano incorporou um finalismo, os alunos ficaram diante de outro tipo de obstáculo: o conhecimento “pragmático”, que busca relacionar o verdadeiro ao útil. No entanto esse obstáculo, abordado por Bachelard na *Formação do Espírito Científico* (capítulo 2), é mais explícito em nossos dados na discussão da idéia das aplicações do campo eletromagnético (a indução eletromagnética). A análise mostrou como os alunos compreendem o campo em função da utilidade, de modo que a máxima do pensamento pragmático (“encontrar uma utilidade é encontrar uma razão”) aplica-se aqui.

Na falta de uma idéia clara do conceito de campo, ou mais precisamente de sua forma, o pragmatismo dominou, convenientemente auxiliado e intensificado pelo conceito de indução. É exatamente em torno da configuração do campo e sua *variação com o tempo*, que notamos a presença das maiores dificuldades enfrentadas pelos alunos na conceitualização do campo.

Verificamos na aplicação da seqüência didática que uma maior clareza dos conceitos de eletromagnetismo, tem ainda outro viés, a simplificação matemática das relações funcionais entre as variáveis didáticas, estruturado na seqüência concomitante de simulação computacional e, descrito no capítulo 6. Assim no aparecimento de uma força eletromotriz, explicitamente no caso da indução, há uma identificação mais direta e imediata com os “obstáculos ao conhecimento quantitativo”, trabalhados por Bachelard e explicitados no capítulo 2, que salienta a importância do método de medir, mais do que do objeto da mensuração.

A aquisição empírica dos alunos dependeu da clareza dos métodos do estudo (nas três atividades), em função da própria definição do objeto. No caso da indução eletromagnética, há que se ter clareza daquilo que envolve o aparecimento da força eletromotriz, desde os fenômenos físicos que podem ser usados para isso até o próprio funcionamento do aparato experimental.

No próximo capítulo, veremos a potencialidade da simulação e o fundamento para a realização das atividades experimentais virtuais complementares as atividades didáticas de Eletromagnetismo descritas neste capítulo.

5. O ENSINO EXPERIMENTAL E A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

5.1. O ensino de Ciências mediado por computador

Diversos conceitos em Educação Científica e Tecnológica surgiram e se desenvolveram na década de 80 e continuam sendo colocados em prática na década de 90, coincidentemente ou não com o aparecimento e desenvolvimento dos computadores pessoais (PC). A década atual, certamente, não impedirá o avanço de um currículo fundamentado na Ciência e Tecnologia, mas ao contrário, promete transformar o ensino-aprendizagem que irá atender as necessidades do aluno-cidadão e da sociedade como um todo para o século em que entramos.

Em princípio, poder-se-ia dizer que a introdução das tecnologias de informação e comunicação através do uso do PC em sala de aula traria o mesmo tipo de transformação que fora observado na Ciência, na indústria ou nos negócios. Nestas áreas, o papel da tecnologia parece óbvio desde o começo, já que, os problemas específicos combinados com a tecnologia resultaram num aumento enorme de eficiência e produtividade das transações.

Já o papel da tecnologia educacional não é tão claro, de certa maneira porque o processo e o produto do ensino presencial continuam, na sua maioria, sem especificação. Podemos observar algumas reflexões realizadas sobre as possibilidades do ensino informatizado de física, como em Medeiros & Medeiros (2002), que nos indicam as vantagens e desvantagens deste processo de informatização.

Como já discutido no capítulo 3, consideramos que a experiência é um atributo inerente ao aluno, e que não deve ser desconsiderada no processo ensino aprendizagem. Também as atividades experimentais são importantes para o desenvolvimento do processo educacional científico dos conceitos em Física. Afirmamos assim que a inserção do computador neste processo tem uma importância relevante.

As vantagens e limitações originárias do uso do computador na Educação estão vinculadas à maneira de utilização do mesmo, ou seja, depende da concepção educacional dos educadores que vão empregá-lo como um instrumento didático no processo ensino-aprendizagem. Pode-se diferenciar, segundo Marques, Mattos & Taille (1986), duas posições sobre a forma mais adequada de utilizar o computador em Educação:

a) Uma das posições afirma que o computador deve ser usado só como um instrumento de aprendizagem,

b) outra posição defende o uso do computador como instrumento didático, fornecendo ao aluno programas educativos estruturados que visam cumprir um determinado objetivo, vinculado ou não ao currículo.

Na nossa opinião, as duas formas de utilização não são necessariamente incompatíveis, podendo até ser consideradas complementares. Utilizar o computador apenas como recurso de aprendizagem pode representar uma subutilização de um recurso extremamente rico e versátil, embora possa produzir benefícios, como a construção do próprio aprendizado, o desenvolvimento do raciocínio lógico etc. Contudo, o computador como instrumento de ensino traz a vantagem de possibilitar sua introdução praticamente em qualquer área do currículo, no âmbito do processo ensino-aprendizagem.

Entusiasmados em torno do panorama de ensinar mediado pela tecnologia, os educadores *“têm impulsionado a comunidade de interatividade homem-computador a projetar, mais que para a usabilidade, para a aprendizagem”*. (Salzman, Dede & Loftin, 1995, p.1 – tradução livre). A questão colocada neste trabalho é o modo como combinar esses tratamentos instrucionais existentes nos desenvolvimentos de atividades experimentais dos conhecimentos físicos mediados por computador.

A mediação tecnológica (no caso específico o computador), para a aplicação das pedagogias construtivistas, têm sido centrada na criação de ferramentas computacionais e representações gráficas, que os alunos podem

manipular na construção de modelos mentais mais completos. Por exemplo, as "*tartarugas*" do LOGO³² são usadas para facilitar a tradução da experiência em símbolos abstratos como proposto por Papert (1986). Sendo assim, a aprendizagem construtivista está melhorando tecnologicamente, podendo-se afirmar que representações e ferramentas serão usadas para mediar compreensões dos alunos sobre fenômenos naturais e sociais.

Seguindo esta linha, os professores deverão proporcionar uma abundância de elementos cognitivos com os quais os seus alunos possam construir conhecimento. Paper (1986) acrescenta que deverão ser disponibilizadas aos alunos ferramentas que viabilizem a exploração dos nutrientes cognitivos, ou seja, os elementos que compõem o conhecimento.

Segundo Morgado (1996) é a partir das contribuições da psicologia do desenvolvimento e da aprendizagem, que surgirá um entendimento sobre o computador, tornando-o uma mediação que potencializa oportunidades de aprendizagem.

É através das *interfaces*, ferramentas e *softwares* utilizados no computador que este exerce sobre o aluno uma influência cognitiva, produzindo efeitos significativos na aprendizagem.

Para Morgado (1996) estes efeitos podem ser distribuídos em:

- Efeitos referentes à atividade cognitiva envolvida na familiarização simbólica com um ambiente informático;
- Efeitos referentes às ferramentas cognitivas, que estabelecem uma relação entre os utensílios, do computador e o pensamento;
- Efeitos relacionados com uma dimensão metacognitiva, que estão relacionados com o nível de controle que o aluno detém sobre o seu processo

³² No LOGO o aprendiz tem disponível um ambiente gráfico que implementa um estilo computacional de geometria, designado por Papert, de *geometria da tartaruga*. A interatividade ocorre a partir da comunicação virtual com o cursor, que é representado na tela, por uma tartaruga (objeto virtual). Ao deslocar a tartaruga na tela, é preciso se colocar em seu lugar e imaginar que é o próprio corpo que está se movendo no espaço.

de aprendizagem, podendo, por exemplo, voltar um passo atrás na sua aplicação ou *software*.

A necessidade de realizar atividades experimentais teóricas ou especialmente práticas, de uma forma não constrangida pela presença do professor, ou a disponibilidade de recursos, incluindo tempo, pode proporcionar interesse crescente. Podemos obter isso com uma atividade experimental informatizada, no caso através de uma simulação³³, como uma forma de instrução e ou aprendizagem de conhecimentos domínios da Ciência e Tecnologia.

Um sistema informatizado que forneça experiência teórica e/ou prática, criando situações apropriadas para o ensino ativo dos alunos, requer: a *flexibilidade* para trocas ou atualizações na base de conhecimento existente ou *um conjunto de procedimentos de instrução*, que podem se expandir para *reutilizabilidade* se as trocas forem suficientemente vastas (Casas, 1999), de forma a permitir:

- uma adaptabilidade que suporte a diversidade de interfaces de *hardware* e *software*;
- um ambiente de aprendizagem baseado em simulação como uma estratégia de ensino, que varia os graus de realismo que podem ser expandidos para instrução em um laboratório informatizado.

A configuração de um sistema de aprendizagem informatizado baseado na estimulação real apresenta um estado, que pode ser o seguinte: a formalização do ensino que permita manipulação de seus passos e procedimentos definidos, enquanto se preserve a capacidade de

³³ Trabalharemos com o conceito de simulação e não animação, pois uma animação se caracteriza por mostrar a evolução temporal de um dado evento, e se presta para a exposição de fenômenos que se apresentam intrincados para aqueles alunos que não têm uma percepção visual aguçada ou uma capacidade de abstração sofisticada. A animação interativa se configura como uma possibilidade no processo ensino-aprendizagem de Ciências Naturais de modo geral e de Física de modo particular (Santos & Tavares, 2003). Já apesar de uma simulação contemplar uma animação, ela é mais abrangente, pois permite para o aluno não somente manipular o evento, mas conhecer e ou modificar as relações entre as grandezas físicas que estão presentes.

funcionamento, sem a criação de dependências errôneas. Essa formalização permite modificações para os procedimentos armazenados no sistema de ensino, como característica desejável para efetuar revisões no curso da realização do ensino. Além disso, os passos definidos nesta forma permitem aos procedimentos de ensino proverem as demonstrações das atividades para qualquer combinação das condições iniciais.

O modelo de ensino-aprendizagem informatizado, segundo Costa & Xexéo (1996), constitui-se numa evolução histórica do modelo educacional: antes, o professor era quem dominava o conteúdo, detinha o saber, sendo apenas transmissor de conhecimentos para seus alunos, que somente os assimilavam. Agora, devem ser consideradas as interações professor-aluno, existe mais diálogo, as parcerias são mais democráticas, e no futuro a colaboração certamente assumirá um novo papel, um modelo centrado na tecnologia dos sistemas especialistas e bases de conhecimento, no qual o professor interage com seus alunos em parceria, e pode-se acrescentar que o aprendizado estará mediado pela tecnologia; o aluno poderá ser, ao mesmo tempo, receptor e emissor na comunicação, e o professor que conduzirá o processo educativo, aprenderá com seus alunos, socializando, assim, o conhecimento.

Colocar o computador como uma ferramenta de tecnologia educacional dentro dos princípios da interação homem-meios informatizados, deve-se inferir nas metodologias de ensino necessárias a esta interação, considerando que são as ações cognitivas efetivamente engendradas pelo “*ambiente social envolvente*”³⁴. Para a psicologia genética, trata-se de um processo de (re) construção, ou seja, de um trabalho que o aluno realiza sobre as coisas. O aluno trabalha, age, pratica sobre os conceitos, transformando-os. Nessa transformação, segundo Lajonquière (1992), ele (re) constrói o conhecimento socialmente compartilhado, ao mesmo tempo em que se (re) constrói como sujeito cognoscente.

³⁴ Termo utilizado por Piaget e Garcia (1987: 228) que denotam os ambientes que proporcionam ao sujeito (aluno) a elaboração do conhecimento.

Nesta visão, pode-se afirmar que o sujeito “*não assimila objetos ‘puros’ definidos por seus padrões físicos*”, mas “*assimila situações nas quais os objetos desempenham determinados papéis e não outros*”. (Piaget & Garcia, 1987, p.228).

Em suma, os motivos pelos quais se pretende promover o desenvolvimento no ensino com recursos de informática são expostos, tais quais as palavras de Tavares (1992), de forma a:

...aumentar a motivação dos sujeitos cognoscentes despertando mais interesse e curiosidade pelo ensino; reduzir assimetrias de qualidade média do ensino e do aprendizado; reduzir assimetrias de qualidade garantindo a utilização de certos módulos de ensino com qualidade semelhante em diversos centros de estudos. (TAVARES, 1992, p.491)

Adicionalmente, a utilização de *recursos computacionais* pode trazer também outras vantagens pedagógicas desejáveis, tais como: “*individualização no aprendizado, estímulo, motivação e promoção da autoestima no sujeito cognoscente, apresentação dos tópicos educativos de modo atrativo, criativo e integrado*” (Giraffa, 1997, p.144) e também: “*... os contextos de aprendizagem escolar precisam ser reestruturados para poderem suportar uma atividade mais centrada no aprendiz, mais interativa, e estimulando mais a resolução de problemas de forma cooperativa*”. (Fino, 1998, p.1)

...o uso do computador pode ser significativo quando usado como meio que proporcione a construção do conhecimento do estudante a partir do que ele já sabe; que o ajude a reestruturar e reorganizar seus conceitos quando necessário; que possibilite a auto-reflexão; que possibilite a relação de fenômenos do seu cotidiano e que ofereça um ambiente ao seu esforço de raciocinar e aprender. (REZENDE, 2001, p.198).

A proposta pode ser sintetizada, de forma que as atividades experimentais mediadas pelo computador, sejam uma importante ferramenta, oferecendo novas maneiras de ajudar o aluno na construção de conceitos físicos, em especial os conceitos de Eletromagnetismo.

Já quanto a aplicabilidade do uso do computador no Ensino Médio, “...é nas primeiras séries do Ensino Médio que o aluno começa a sistematizar o seu aprendizado na disciplina de Física, portanto torna-se preponderante que estas relações introdutórias sejam de tal modo, que solicite o interesse e curiosidade da disciplina” (Paz, 1999, p.15). Portanto há necessidade de alcançar novas, diferentes e instigantes metodologias de ensino, utilizando as tecnologias de informação e comunicação e buscando mudanças no ensino-aprendizagem de Física.

Deve-se enfatizar, que as atividades experimentais mediadas por computador não devem funcionar apenas como constatação da teoria. Isso faz com que os alunos se separem da realidade vivencial do cotidiano. É preciso que estas atividades gerem questionamentos e os levem a refletir e desenvolver em si mesmos a busca de soluções, associando a Ciência as constantes inovações tecnológicas e ao uso correto das tecnologias de informação e comunicação.

A informática, por ser uma ferramenta cada vez mais presente no processo de trabalho, configura-se como uma tecnologia de apoio a aprendizagem, com o potencial de tornar-se uma das mediações nas relações entre educação e trabalho.

Um ambiente educacional que forneça sistemas de ensino de domínios diversos com o conhecimento e a experiência requeridas no mundo-real, para terem sucesso completo devem ser fornecidos com as características de um experimento real, resultando numa poderosa ferramenta para aprendizagem visual e manual, incluindo a possibilidade de trabalho em equipe. Os custos de equipamento podem ser diminuídos, já que não haverá necessidade de laboratórios complexos, cuidados resultantes no manuseio de equipamentos podem ser desconsiderados e o aprendizado pode ser planejado segundo as conveniências dos alunos. Além disso, a capacidade de retomar as sessões com mínimo esforço seria uma grande vantagem.

Neste sentido, a informática torna-se a mediação tecnológica que oportuniza a simulação ou imaginação de modelos mentais, pois “*um modelo*

digital não é lido ou interpretado como um texto clássico, ele geralmente é explorado de forma interativa” (Levy, 1993, p.121).

Esta possibilidade de construção do conhecimento por simulação vai demandar habilidades e competências, qualificações enfim, para atuação sobre o imaterial. Esta mudança na natureza e conteúdo do conhecimento e, por decorrência, das qualificações, traz grandes desafios ao professor, os quais não pode deixar de enfrentar. Constituem, principalmente, as já constatadas e necessárias transformações das práticas pedagógicas no sentido de criar condições para a construção dos conhecimentos oriundos desta nova configuração do mundo do trabalho.

Novas maneiras de pensar e de conviver estão sendo elaboradas no mundo das telecomunicações e da informática. As relações entre os homens, o trabalho, a própria inteligência dependem, na verdade, da metamorfose incessante de dispositivos informacionais de todos os tipos. Escrita, leitura, visão, audição, criação e aprendizagem são capturadas por uma informática cada vez mais avançada. Não se pode mais conceber a pesquisa científica sem uma aparelhagem complexa que redistribui as antigas divisões entre experiência e teoria. (LEVY, 1993, p.7).

Devemos enaltecer e deixar claro principalmente aos alunos adolescentes do Ensino Médio, que as simulações computacionais são apenas representações e não podem ser substitutos da experiência com o mundo real (Medeiros & Medeiros, 2002). Contudo, como expusemos anteriormente, aliar o ensino com atividades experimentais de Física mediadas pelo computador mostra-se potencializador para o desenvolvimento cognitivo e aprendizagem do aluno adolescente.

Nesta época onde as tecnologias de informação e comunicação estão indiscutivelmente presentes em nossa vida, podemos dizer que: *“Os computadores podem não ter sentimentos, mas não há dúvida de que os temos em relação a eles”.*(Kahn, 1995, p.1).

5.2. Os aplicativos computacionais

Alguns autores, Tavares (1991); Marques, Mattos & Taille (1986), classificam pormenorizadamente os aplicativos computacionais educacionais. No entanto, ao nosso ver, a fim de nos situarmos e caracterizarmos os referidos aplicativos, devemos fornecer uma maior clareza e simplicidade a despeito de sua utilização. Assim, tentaremos classificar os mesmos, nos referenciando no trabalho de Ramos (1996).

A autora considera que todo software educacional reflete, na sua concepção, uma visão psicopedagógica particular. Das muitas classificações já propostas para os tipos de aplicações computacionais para uso educativo existentes, utilizou a proposta, adotada dessa forma por nós, de Thomas Dwyer (em Ramos, 1996) que, considerando a atividade do usuário, propõe uma divisão em dois grupos:

- software com enfoque do tipo *algorítmico*
- software com enfoque do tipo *heurístico*.

Segundo Ramos (1996), no enfoque do tipo *algorítmico* predomina a ênfase na transmissão de conhecimento dos sujeitos que sabem o que desejam aprender. Assim, o criador do software tem a função de projetar uma seqüência estruturada para a apresentação do conteúdo.

O conteúdo deve ser subdividido em pequenas partes, contendo atividades que exijam uma resposta ativa em cada etapa, levando a uma avaliação imediata desta, em conjunto com reforço (ou feedback). A finalidade é conduzir o usuário a um objetivo previamente determinado. Seus proponentes indicam como uma das principais vantagens a realização de um ritmo próprio para fixação dos conteúdos. Também se considera que o computador possa permitir a formulação de seqüências ideais de ensino, pois o mesmo deve ser interativo para o usuário, personalizando estratégias de fixação e reforço dos conteúdos transmitidos.

Ainda, segundo a autora, no enfoque *algorítmico* encontram-se as aplicações do tipo tutoriais, a conhecida instrução assistida por computador

(CAI - *Computer Assisted Instruction*). Como o nome indica este tipo de software pretende assumir as funções de um tutor conduzindo o usuário através das distintas fases da aprendizagem, estabelecendo uma relação coloquial com o mesmo.

Os idealizadores deste tipo de aplicação pregam que, com o auxílio de técnicas de Inteligência Artificial (IA), possam ser construídos sistemas eficientes de modelagem de aprendizagem, de forma que, as desejadas seqüências individualizadas de apresentação e reforço dos conteúdos possam ser enfim atingidas. Contudo, as tecnologias atuais em IA ainda não dão conta de tal tarefa, apesar das inúmeras investigações nesse sentido.

A desvantagem principal deste tipo de aplicativo computacional, é a rigidez e excesso de especificidade. Pois, mesmo que a personalização ideal das seqüências de apresentação de conteúdos e reforços seja obtida, o controle da atividade do usuário será da máquina, ou seja, o programa decidirá, mesmo que *inteligentemente*, o que o usuário deva fazer em cada etapa. O controle do progresso do aluno é a base da construção deste tipo de sistema. O controle do processo de ensino-aprendizagem está vinculado a quem projetou o sistema, que delimita o que o usuário deve ou não aprender.

Tais aplicações podem ser eficientes na aprendizagem de habilidades específicas e no repasse de conteúdos já sistematizados, mas nada acrescentam ao nível da promoção do processo cognitivo.

A transmissão gratuita de conteúdos pouca ou nenhuma importância tem na formação das estruturas cognitivas. Se um conteúdo é facilmente assimilado então a estrutura assimiladora já existia. Se ele não é assimilado, não será na sua repetição ad infinitum que tal ocorrerá, mas sim na reestruturação de tais estruturas. Essa reestruturação não ocorre na passividade, mas sim na vivência efetiva de situações problemas. Vivência efetiva de problemas é muito mais do que a solução de uma lista de exercícios. (RAMOS, 1996, p.135).

As utilizações de hipermídias renovaram estas possibilidades, pois são ferramentas de múltiplas representações do conhecimento, e possibilidades de

expressão e comunicação via interatividades diversas ao longo do aplicativo computacional.

A outra categoria na classificação de Dwyer é o enfoque do tipo *heurístico*. Neste enfoque, aprendizagem experimental ou por descobrimento é predominante, devendo o software criar um ambiente com situações que o aluno deve explorar com conjecturas próprias. Os softwares não trazem definidas as atividades que devem ser desenvolvidas pelos alunos, e se caracterizam por criarem ambientes próprios ao estabelecimento de conflitos cognitivos adequados ao aumento dos esquemas operatórios do aluno, como também condições propícias às soluções destes conflitos.

O software do tipo *heurístico* apóia a descoberta e a construção dos conceitos e habilidades, a partir da atividade de busca do aluno, na própria exploração ou solução de problemas. Neles são de grande importância, para despertar a curiosidade e o desejo de aprender, os desafios relevantes. A tentativa e o erro, bem como a suposição e a comprovação de hipóteses são modos de aprender, enquanto as pistas e os princípios gerais não visam resolver o problema do aluno e sim, indiretamente, esclarecer. Por exemplo, um jogo educativo não ensina explicitamente; nele aprende-se partindo da vivência lúdica e da reflexão sobre a mesma. Já um *simulador* também serve para aprender da experiência, dentro do particular que envolve, de forma simplificada, aquelas qualidades que interessam descobrir num sistema natural ou artificial.

Segundo Galvis (1997), neste enfoque, a aprendizagem se produz por discernimento repentino, a partir de situações experimentais e conjecturais, por descobrimento daquilo que interessa aprender, não mediante transmissão de conhecimentos.

Já Campos (1994), afirma que isto não implica em o professor não ensinar; mas ele não transmitir conhecimentos diretamente ao aluno. Seu papel passa a ser o de favorecer o desenvolvimento das capacidades de autogestão do aluno, que aliados aos dispositivos heurísticos vão permitir ao mesmo desenvolver e se orientar pelos seus próprios modelos de pensamentos.

Podemos concluir assim que, num ambiente heurístico de aprendizagem, o aluno, através de uma busca do domínio de formas de aprender, irá formando as novas sinapses do que pretende aprender, e até mesmo descobrir novos conhecimentos. Exemplos destes softwares são simulações, jogos, animações e sistemas especialistas. Um exemplar conhecido desta abordagem heurística é o LOGO³⁵, e também destacamos o aplicativo Interactive Physics (2000), utilizado em nosso trabalho.

5.3. A simulação computacional como modelo complementar às atividades experimentais de Eletromagnetismo

Vimos no capítulo 3 que os modelos mentais são como análogos estruturais da "realidade". Formam-se no plano mental do aluno, estabelecendo uma conexão entre o fenômeno que se tem contato e sua representação. Na formação de um modelo mental, destacam-se dois componentes, os elementos e as relações, que representam um estado de coisas específico. Assim, os modelos mentais servem de sistemas intermediários entre o mundo e sua representação.

Podemos então inferir que as atividades experimentais podem sustentar um processo de significação do mundo, quando usadas e referenciadas no plano da simulação da realidade. No caso da simulação, desenvolve-se um jogo entre elementos e relações, mantendo correspondência com seus análogos no plano do fenômeno. No plano da simulação podemos formar ambientes estimuladores para a criação de modelos mentais pelo aluno, que passa a reconhecer nos mesmos agora simulados, a representação análoga da realidade.

³⁵ Há uma versão atual disponível na web, o StarLogo (<http://www.media.mit.edu/starlogo>). Este aplicativo remodelado é uma ferramenta de modelagem baseada em agente, projetada para permitir a construção de seus próprios modelos de sistemas complexos, dinâmicos. Ao contrário de muitas ferramentas de modelagem baseadas em agregação, StarLogo suporta um processo tangível de construção, análise e descrição de modelos que não exige habilidades avançadas de matemática ou de programação. No StarLogo, a pessoa impõe regras simples para comportamentos individuais de agentes que "moram" e se movem em um ambiente bidimensional.

No caso da utilização somente das atividades experimentais, ao permanecer na representação tridimensional, os alunos correm o risco de estagnar sua capacidade de formular seus próprios modelos mentais do Eletromagnetismo. Propomos então subsidiar a transição do estágio de observação do modelo eletromagnético, concomitante à sua fixação na memória do aluno, para um estágio de apropriação desse modelo, onde possa alterá-lo conforme a situação-problema que lhe é apresentada. Assim nessa transição, podemos operar com outra modalidade de simulação, capaz de incorporar outros modelos representativos das estruturas aos conceitos eletromagnéticos, a *simulação computacional*.

Por meio dessa mediação tecnológica, o aluno poderá perceber, por exemplo, que o conceito de campo pode vir a ser representado por uma opção de força a distância, onde a relação funcional entre as grandezas está representada dinamicamente na própria construção da simulação; ou ter a noção de preenchimento espacial, próximo ao conceito de “nuvem”, por uma outra opção onde a distribuição espacial do desenho bidimensional pode ser melhor percebida. A própria capacidade de rotação espacial do modelo de movimento da agulha magnética, simulado na tela do computador, portanto na bidimensionalidade, confere um acoplamento inusitado com os modelos da atividade experimental, animando-lhes conforme as idiosincrasias do modelo mental do aluno.

O papel das atividades experimentais por simulação, na nossa concepção, não é o de substituir as atividades experimentais propostas inicialmente na seqüência didática, mas sim complementá-las. Sugerimos respeitar a ordem de exposição dos grupos aos experimentos: em primeiro lugar a atividade experimental concreta, depois as de simulação. A simulação não pode tolher a necessária tarefa de criação de modelos mentais já verificada na seqüência didática das atividades experimentais. Deve sim, sustentar esta prática com novas regras e relações, mais próximas do processo de significação, inserindo um novo plano de mediação entre o sujeito e o objeto: o plano da realidade simulada ou da representação dos modelos dos alunos.

Numa concepção idealista, a atividade experimental por simulação permite ao aluno cultivar seu imaginário em consonância com um conjunto de signos cientificamente legitimados, transitando entre a crueza da realidade objetiva e as sombras da compreensão subjetivada. Nesse sentido, as atividades experimentais por simulação permitem uma nova oportunidade para representação do Eletromagnetismo e de seus modelos mentais representativos.

5.4. O aplicativo computacional educacional utilizado

Dos vários aplicativos computacionais encontrados, elegemos o aplicativo Interactive Physics, pela sua concepção construtivista, por já ter uma versão em português e, necessariamente por ser o único atualmente que atende a todos os nossos objetivos de modelização simulada. Não é de interesse e objetivo deste trabalho descrever e demonstrar por completo o aplicativo computacional educacional utilizado (o apêndice I se propõe a apresentá-lo de modo geral e suas condições de utilização pelo usuário, as especificidades do mesmo trabalhadas com os alunos), mas sim, situar como foram trabalhados os conceitos físicos com o uso do software e a sua relação com o ensino aprendizagem de Eletromagnetismo.

A justificativa da utilização do aplicativo computacional educacional Interactive Physics (2000), se dá numa perspectiva construtivista já que, em resumo, oferece ferramentas poderosas para esta aprendizagem:

- as simulações desenvolvem habilidades de investigação e conhecimento da Física;
- o modelo de construção é ativo, o problema é resolvido construtivamente;
- as animações servem para ajudar os alunos a visualizar conceitos abstratos;
- as múltiplas representações se apóiam em estilos de aprendizagem diferentes.

O aplicativo também se constitui num bom complemento a instrução tradicional de Física, pois pode:

- ilustrar conceitos e princípios numa aula expositiva, em conferências ou seminários;
- simular dificuldades, em problemas de fim de capítulos;
- comparar soluções de simulação com soluções simbolicamente derivadas.

O aplicativo modela as capacidades de simulação, que são especialmente compatíveis com aprendizagem de investigação:

- reduzem a complexidade dos modelos com ferramentas que destacam as relações importantes e dependências enquanto filtram informações dispensáveis;
- os controles de repetitividade da simulação provêem oportunidades para alunos repetirem investigações ao mesmo tempo em que constroem uma compreensão afetando mudanças com incremento em variáveis;
- fornecem um "feedback" imediato, habilitando o modelo para comprimir o tempo e permite aos alunos observar mudanças em um fenômeno simulado que ordinariamente requereria longo tempo;
- os alunos têm alcance de experimentar, modelar e fazer aproximações de simulações, permitindo experimentar fenômenos que seriam impossíveis, impraticáveis ou perigosos;
- o projeto de interação e ou modelização nas aproximações de simulação permitem aos professores montar casos específicos para enfocar a atenção de alunos.

Apresentamos na Figura 5.1 na próxima página 164, a tela inicial do referido aplicativo na versão utilizada para Windows, destacando os diversos botões interativos do mesmo, em especial a possibilidade de programar as equações físicas da simulação virtual.

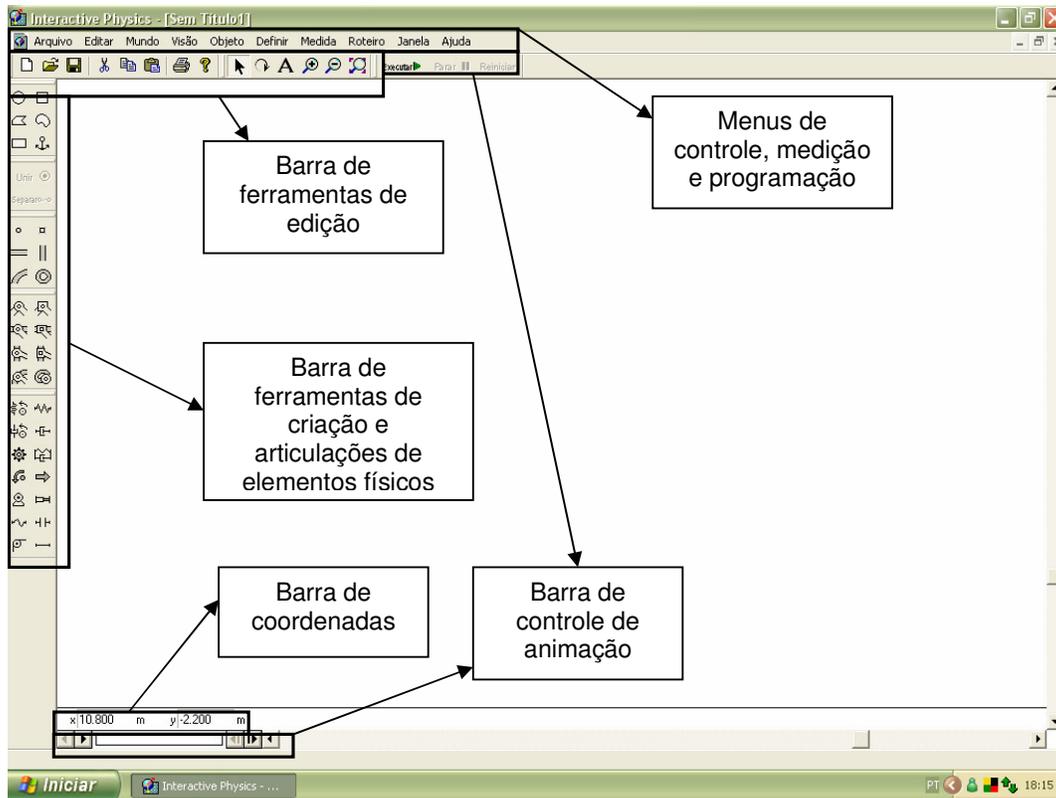


Figura 5.1: Tela inicial do Interactive Physics

Com esses destaques do aplicativo computacional, descreveremos no próximo capítulo, o trabalho realizado com os alunos, concomitante a seqüência de atividades experimentais e a avaliação final do processo.

6. A SEQÜÊNCIA DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E A MODELIZAÇÃO MATEMÁTICA

6.1. Introdução

A seqüência didática histórica experimental apresentada no capítulo 4, consolidou o caráter da construção e aprendizagem dos principais conceitos do Eletromagnetismo. Esta seqüência foi a base da construção de um modelo inicial do ensino de Física com atividades experimentais que permitiu a visualização dos conceitos envolvidos, a associação das variáveis eletromagnéticas e sua distribuição espacial.

Desta forma, a fim de verificar a cognoscência dos alunos frente a utilização da ferramenta educacional-computacional, utilizamos o programa Interactive Physics (IP) como aplicativo computacional, realizando um estudo concomitante com as atividades experimentais do Eletromagnetismo.

A seqüência didática de simulação computacional, com o uso do IP, foi complementar e aplicada a seguir de cada uma das atividades experimentais, seguindo a mesma ordem dessas atividades apresentadas no capítulo 4. Para diferenciar, nomearemos as atividades de simulação, de Atividades Virtuais. Logo teremos: ATIVIDADE VIRTUAL I: geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica; ATIVIDADE VIRTUAL II: ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica e ATIVIDADE VIRTUAL III: geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável.

O cronograma é o mesmo apresentado nos Quadros 2 e 3 (páginas 116 e 117). Destacamos que, após a aplicação da Atividade Experimental I e antes da complementação simulada desta atividade, na primeira aula de simulação com o aplicativo, os alunos inicialmente tomaram conhecimento do IP, com a introdução à ferramenta, construção e manuseio dos componentes, trabalho com grandezas e a matematização. Nesta introdução, trabalhamos basicamente com conceitos de mecânica através de modelos presentes no aplicativo.

Quanto a realização das simulações, devido escassez de tempo em um programa regular de Física e a forma de trabalho em um laboratório virtual, consideramos dois modos para a realização das mesmas: 1) os alunos construindo as atividades simuladas e, 2) os alunos construindo as mesmas, através de modelos pré concebidos³⁶. Ressaltamos que na maioria dos softwares educacionais o aluno apenas “usa” algo pronto.

Apesar de entendermos o modo 1 como ideal³⁷, adotamos o modo 2, onde os alunos construíram atividades virtuais partindo de modelos pré-concebidos. Manipulando as mesmas, de forma a confirmar as relações entre os conceitos, verificar as relações matemáticas e transitar no plano tridimensional e “chapado” na tela do computador.

A idéia inicial de trabalho individualizado foi abandonada e, no intuito de mantermos a aplicação da seqüência didática, dividimos as turmas de 25 alunos, entre os computadores disponíveis. Dividimos assim as turmas em grupos de três ou até quatro alunos, número muito além de dois alunos por computador ideal para tal trabalho.

Outra dificuldade, no âmbito de observação e a coleta de dados de nosso trabalho, foi a organização dos grupos de alunos. Fizeram parte deste apenas os alunos que tiveram freqüência em todas as atividades experimentais juntamente com os alunos que não freqüentaram todas. Nesse aspecto, também nas três atividades de simulação realizadas, os grupos não foram os mesmos, sendo remanejados a cada encontro, devido agora a ausência de alguns alunos nesta nova etapa.

Devido às considerações colocadas e a falta de tempo para uma maior familiaridade e conhecimento por parte dos alunos com o IP, assim como uma única oportunidade de trabalho com a mesma turma de alunos, a construção das simulações ocorreu de forma limitada. Isto não invalidou o trabalho, até

³⁶ A grande maioria dos modelos exemplos do programa utilizado se refere a parte da mecânica, mas que pode fornecer uma familiaridade maior com a ferramenta.

³⁷ O trabalho de Paz (1999), mostra pormenorizadamente estes problemas com a utilização do modo 1 e, a justificativa do trabalho dos alunos.

porque todos os progressos de cada grupo eram destacados e socializados, pelo professor, na tela de projeção do laboratório.

6.2. Aplicação da seqüência didática virtual

Na ATIVIDADE VIRTUAL I, realizada após a Atividade Experimental I (a primeira aula de Eletromagnetismo com o IP), os alunos primeiramente tentaram simular o movimento da agulha magnética na presença do campo criado pela corrente em um fio condutor. Esta simulação foi a que mais tempo levou, devido a falta de familiaridade dos alunos com o IP.

Podemos observar na Figura 6.1 complementada pela Figura 6.2, a seguir, uma das primeiras tentativas experimentadas pelos alunos.,

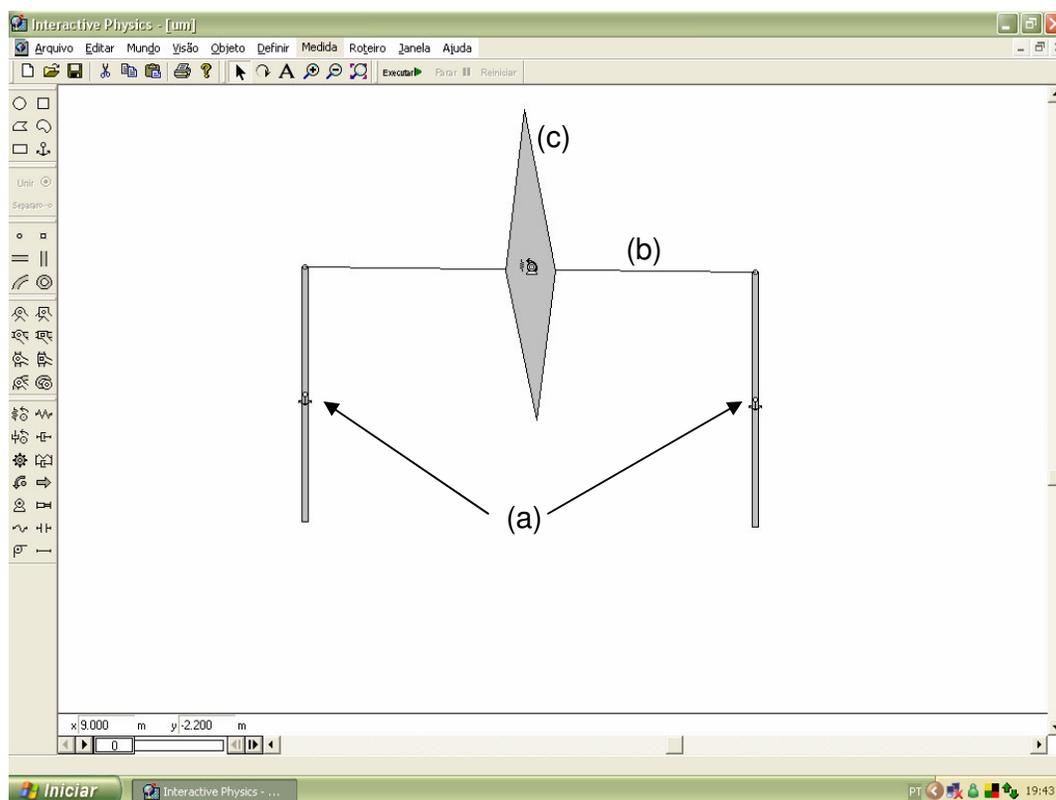


Figura 6.1: Montagem 1a. Mostra a montagem virtual de duas hastes paralelas fixas, ancoradas (a), e o desenho de um fio entre elas (b). Ao centro, a representação de uma agulha magnética, um losango (c), que pode adquirir um movimento de rotação (o IP assim o permite).

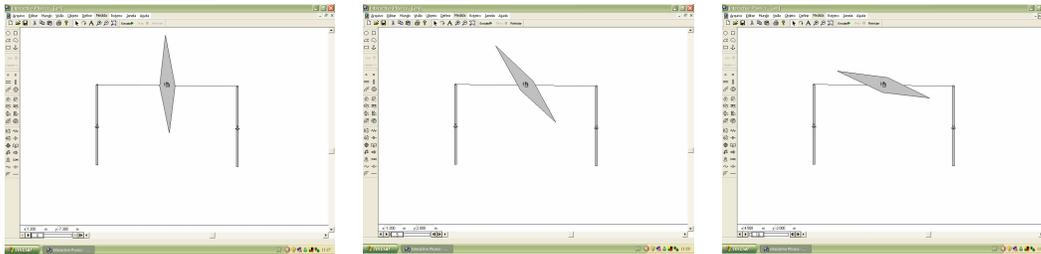


Figura 6.2: Mesma montagem 1a. Mostra três quadros em seqüência tentando evidenciar a dinâmica da simulação.

Duas considerações principais foram detectadas: A dificuldade inicial de representação do fio, em conjunto com a agulha magnética. Os planos são distintos e na simulação a rotação (fenômeno que “ocorre” na simulação) da agulha é observada, mas o seu posicionamento em relação ao fio não.

Verificamos já na próxima montagem, Figura 6.3, um aprimoramento, colocando os fios “em corte”, em planos perpendiculares de forma a que o movimento (alinhamento) da agulha esteja no plano do campo eletromagnético.

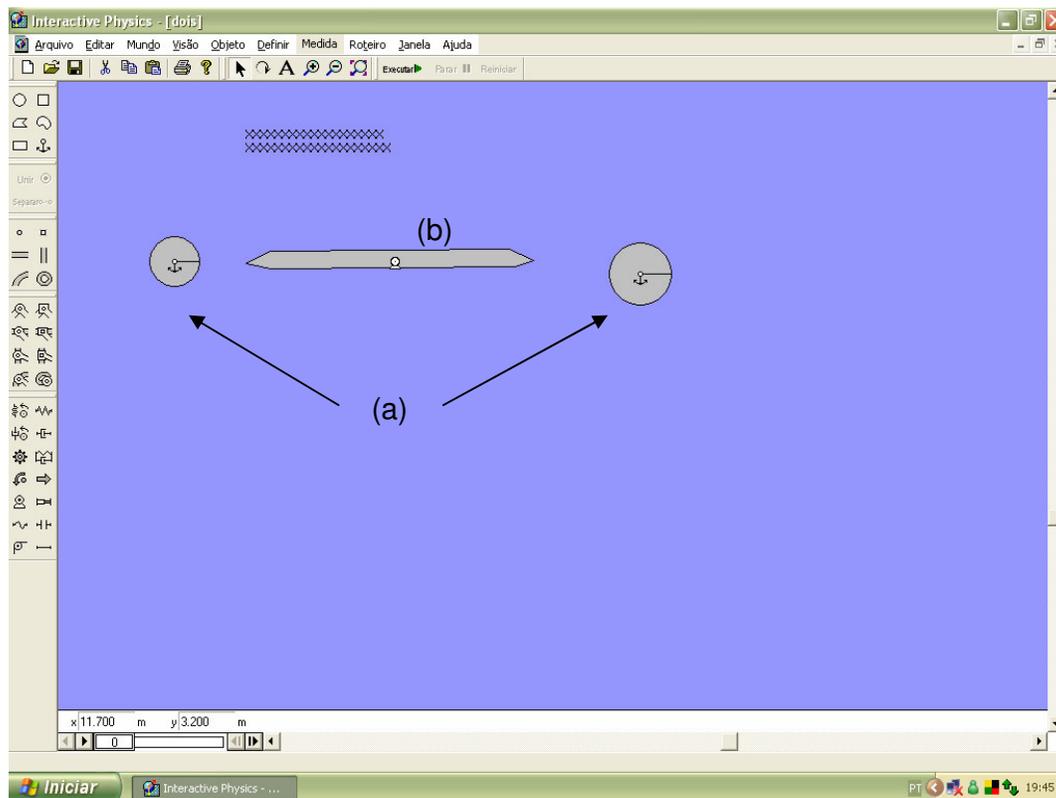


Figura 6.3: Montagem 1b. Mostra dois fios em corte - os círculos ancorados (a), e ao centro, a representação de uma agulha magnética, uma haste com pontas “afuniladas” (b) adquirindo um movimento de rotação no mesmo plano do campo (esta ainda é uma suposição na simulação).

Apesar dos alunos rapidamente identificarem a forma de simular o movimento da agulha, a associação entre as grandezas físicas envolvidas foi de grande dificuldade. Isto se deveu as limitações do IP, pois o mesmo, a princípio, é muito voltado para a Mecânica. Sendo que os modelos exemplos são na sua grande maioria desta área da Física. Esta dificuldade foi na realidade, superada como veremos adiante na próxima figura.

Em razão do IP não simular a corrente elétrica, os alunos associaram a um determinado objeto em movimento (uma carga elétrica). Desta forma conseguiram simular o movimento de cargas, mas mesmo assim, permaneceu uma dificuldade na representação do movimento destas, em um “caminho” pré-definido. A superação desta dificuldade foi desenvolvida pelos mesmos, associando os objetos (cargas) a um guia, conforme a Figura 6.4 a seguir.

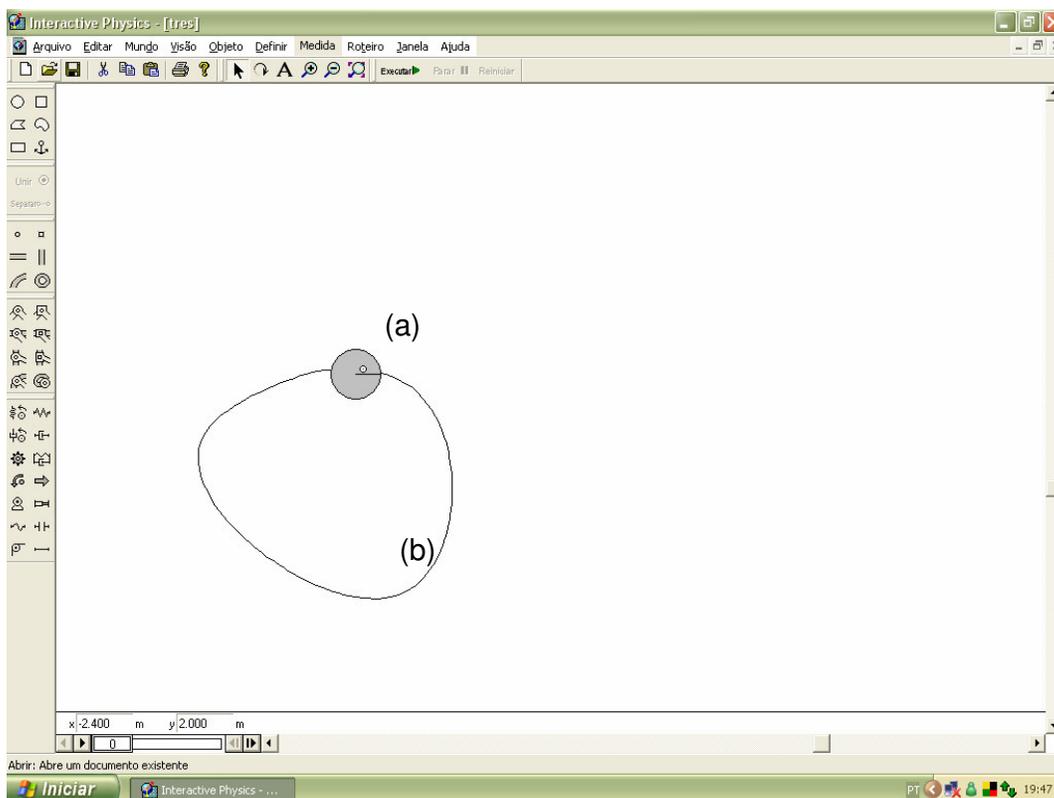


Figura 6.4: Montagem 1c. Mostra um objeto circular virtual - uma carga (a), associada a um guia, a linha em circuito fechado (b). O objeto pode adquirir um movimento seguindo este guia.

O modelo explicativo de um grupo de alunos levou em conta a relação direta entre campo e corrente (constituída pelas cargas em movimento), sem que se atentasse para a variação do valor do campo em função da distância. É

de se ressaltar a capacidade dos alunos criarem modelos explicativos para o fenômeno em estudo, o que é uma competência importante a ser desenvolvida em situações de ensino envolvendo atividades experimentais e simulações computacionais.

A Figura 6.5, mostra a evolução para uma representação mais elaborada, associando cargas elétricas a setas em movimento.

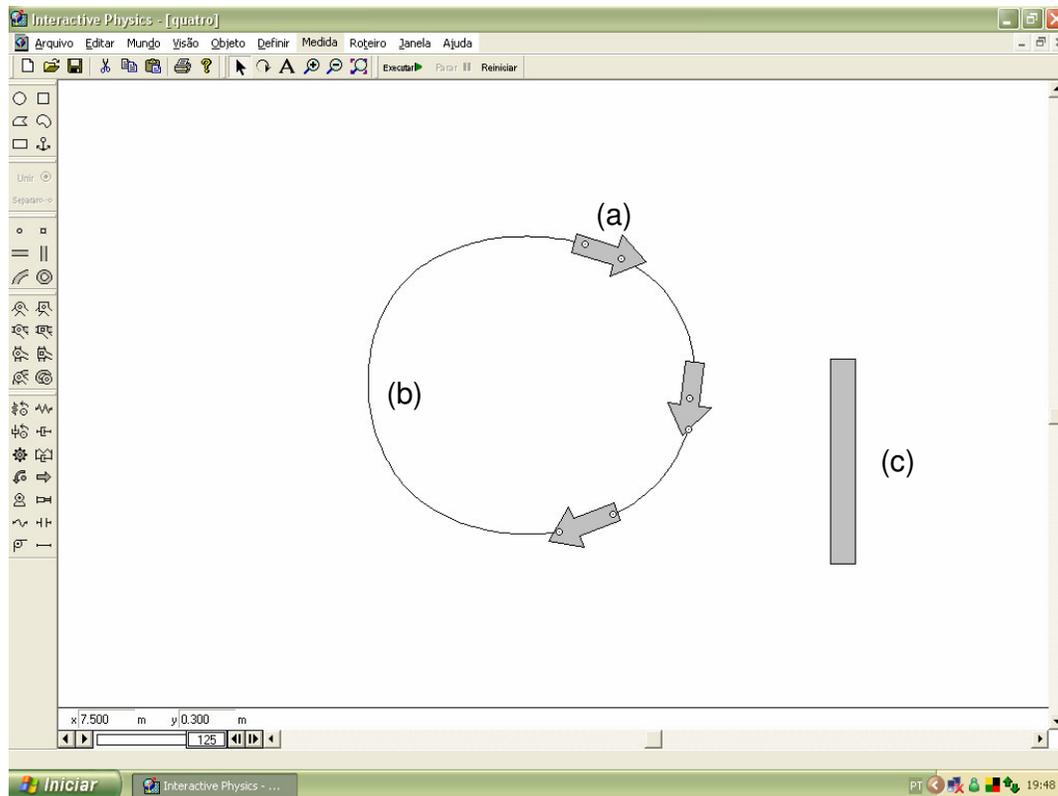


Figura 6.5: Montagem 1d. Mostra a montagem virtual de vários objetos em forma de seta, representando as cargas (a), associada a um guia, a linha em circuito fechado (b). As setas podem adquirir um movimento seguindo este guia. A barra (c) não tem utilidade nesta montagem.

Os alunos chegaram à representação completa da Atividade Virtual I, na Figura 6.6 e 6.7 (página 172), contudo a montagem virtual ainda apresenta uma desvirtuação, que é a representação da agulha e do fio (onde há a passagem de corrente) deslocadas uma da outra, num mesmo nível. A representação pura e simples desta situação, sem a devida discussão com a turma poderia se constituir em um obstáculo à construção da forma do campo eletromagnético.

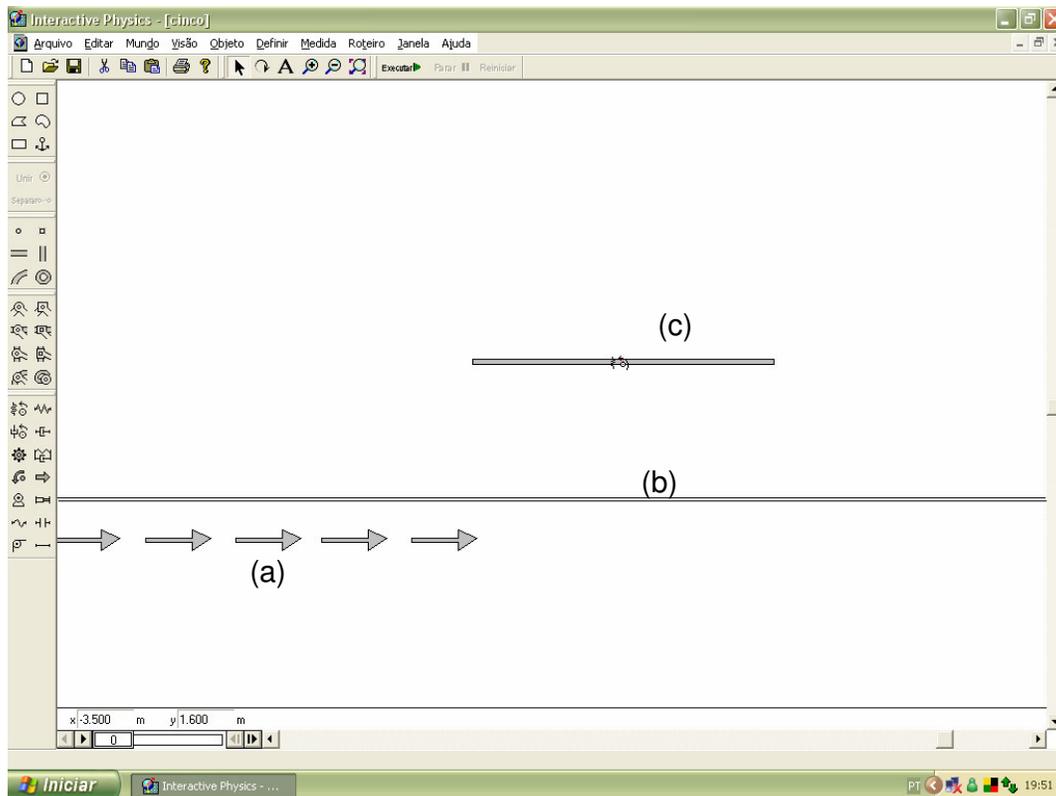


Figura 6.6: Montagem 1e. Mostra a montagem virtual de vários objetos em forma de seta (a), representando as cargas, associada a um guia - a linha representando um fio (b). Ao mesmo tempo em que as setas adquirirem movimento seguindo este guia, a agulha magnética - a haste acima do fio (c) pode adquirir um movimento de rotação, até permanecer em repouso (perpendicular a posição inicial).

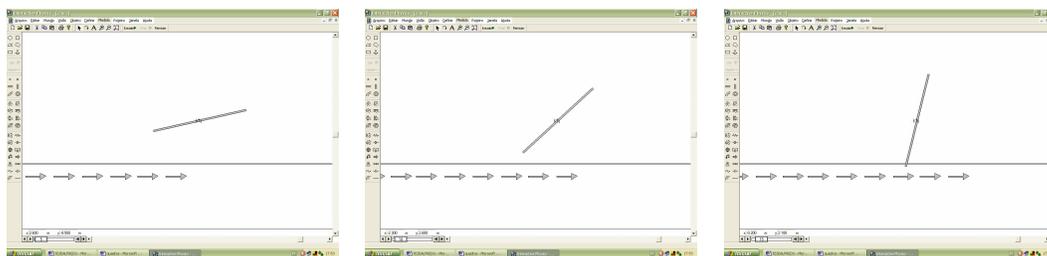


Figura 6.7: Mesma montagem 1e. Mostra três quadros em seqüência tentando evidenciar a dinâmica da simulação.

Quanto a construção da relação matemática, partindo da abordagem qualitativa, previamente discutida nas atividades experimentais, entre as grandezas campo magnético (B), corrente elétrica (i) e distância do fio ao ponto onde se deseja conhecer o campo (d), a simulação gerou um resultado satisfatório, mas de difícil associação. Mais explicitamente, em razão da dificuldade encontrada de trabalhar (construir) as equações no IP. Dito de

outra forma, o aprendizado quantitativo do fenômeno eletromagnético não se deve apenas a mediação tecnológica da simulação computacional, mas sim à interatividade professor e aluno.

O modelo simulado estabeleceu algumas correspondências não explícitas com o sistema experimental tradicional. No plano dos elementos formuladores do modelo destacam-se: as cargas elétricas em movimento, representadas em forma de objetos, aproximando-se significativamente do modelo científico. A principal correspondência ocorreu entre a variação do campo em função da corrente elétrica, simulada pelo aumento da velocidade das cargas, conceito central para o entendimento do fenômeno eletromagnético.

Como vimos na fundamentação teórica, os alunos deparando-se com uma representação da realidade, foram levados a construir a sua própria, que veio a se ajustar àquela em simulação. A atividade experimental funcionou como estrutura da realidade simulada, etapa intermediária na compreensão do fenômeno eletromagnético em questão.

Por outro lado, os conceitos físicos foram trabalhados fenomenologicamente de forma satisfatória através de três níveis de representação: o sensorial, na atividade experimental; o "atômico", na simulação das cargas em movimento e o simbólico, nas equações matemáticas nas relações de proporção e heurísticas construídas para a simulação. As dificuldades dos alunos devido as suas interpretações pessoais dos fenômenos físicos, foram superadas ao passar de um nível de representação para outro, quando buscaram interpretar a simulação que ocorreu devido a construção elaborado no IP.

A simulação da ATIVIDADE VIRTUAL II (relacionada à força magnética), foi bem mais rápida e alentadora, talvez devido ao fato dos alunos já estarem familiarizados com o IP. Também foi importante, na extrapolação do modelo real para o Eletromagnetismo discutido na atividade experimental para um modelo "atômico", de representação em formas de cargas elétricas, construído pelos alunos na simulação.

Na atividade experimental, os alunos observaram qualitativamente a relação entre força elétrica (F) no fio e a corrente (i) em um fio de comprimento (ℓ), para um campo magnético (B) fixo (externando a relação $F \propto i \ell$)

A simulação, possível de ser construída, foi a que mais apresentou dificuldades, para representação da corrente (fio imerso) em um campo magnético. A solução encontrada pelos alunos, indicada na Figura 6.8 a seguir, foi a representação do fio (um segmento do mesmo) com uma certa carga, onde a corrente (i) foi obtida de uma forma indireta, através da sua definição física (razão entre a variação da carga o tempo medido). A força magnética pode ser observada dinamicamente na movimentação do fio.

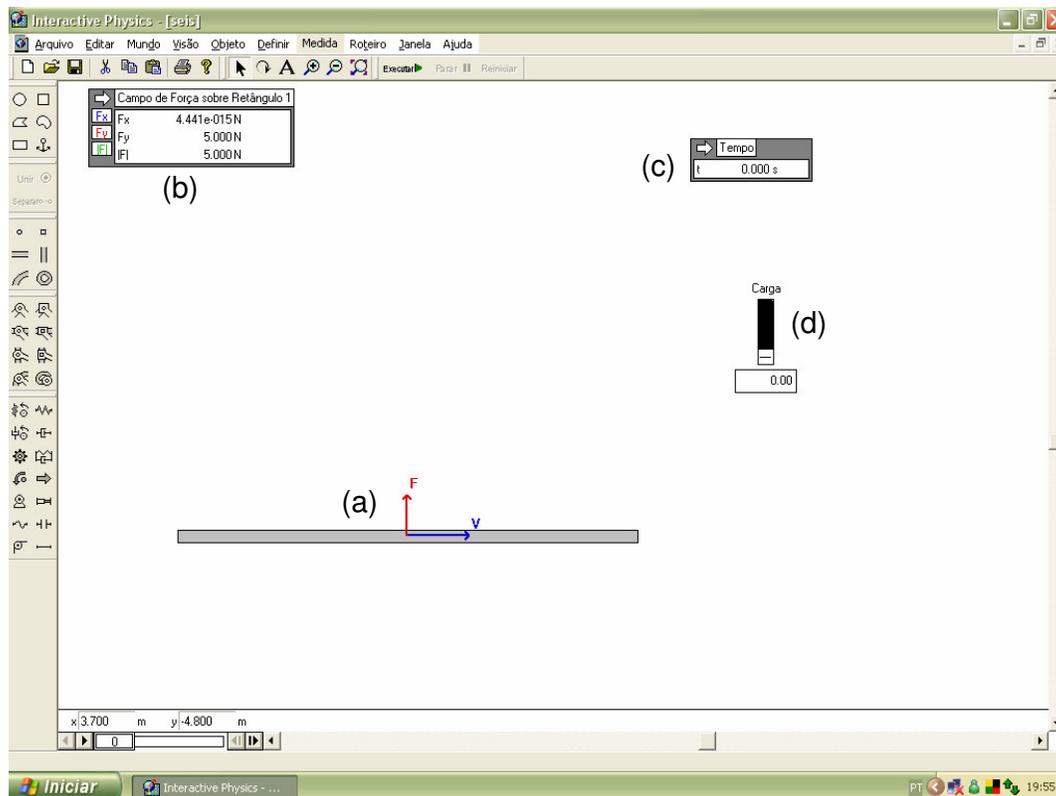


Figura 6.8: Montagem 2a. Mostra a montagem virtual de um objeto em forma de barra eletricamente carregada (a) - representando o fio condutor. Esta barra pode mover-se para a direita com velocidade v e aparecendo uma força F sobre a mesma. Também são representados duas “janelas”: (b) mostra o campo de força (a ativação do mesmo, é uma das funções do IP) e (c) indica o intervalo de tempo. Também um botão interativo (d) onde se pode variar o valor da carga do fio.

Com os dados numéricos obtidos na simulação, foi construído um gráfico $F \times i$, onde, após a linearização os alunos chegaram a relação matemática $F \propto B i l$.

Uma das maiores surpresas no trabalho desenvolvido, foi a construção, por parte da maioria dos grupos, de uma simulação do movimento de uma partícula com carga (q) imersa em um campo eletromagnético (B). Esta simulação partiu de elaboração da adaptação da corrente elétrica (i), para uma visualização de cargas (q) em movimento (com velocidade v), vista na representação da Figura 6.9 e 6.10.

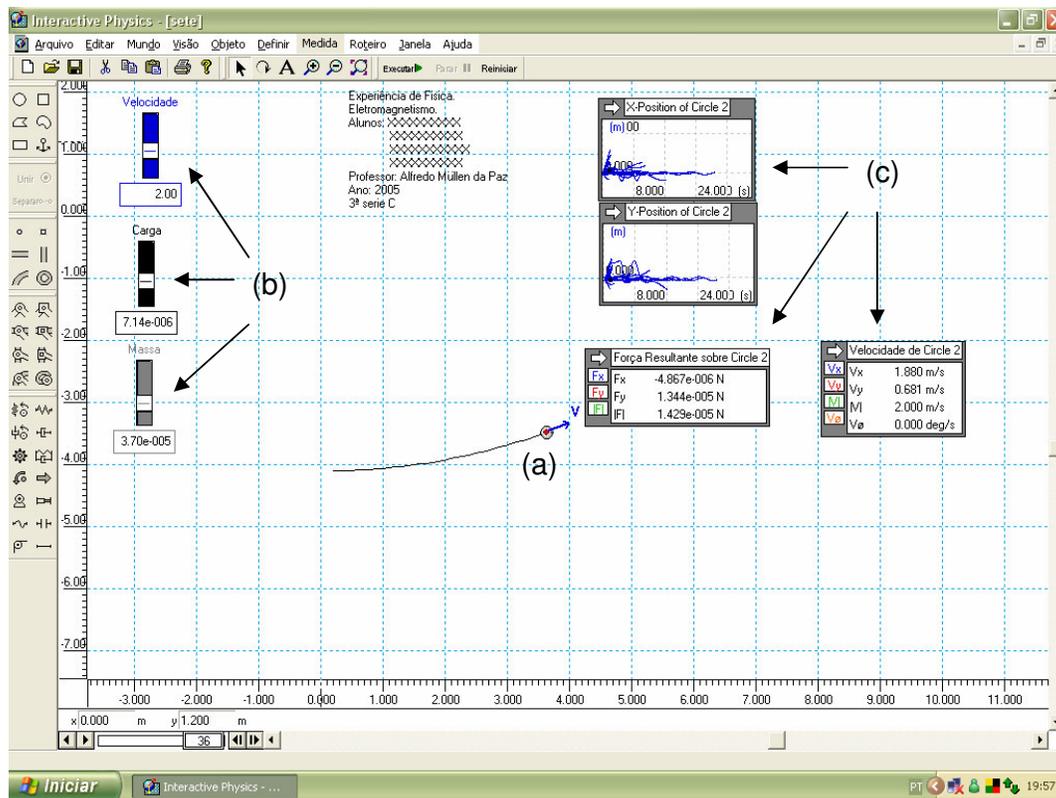


Figura 6.9: Montagem 2b. Mostra a montagem virtual de um objeto circular (a) - representando a partícula eletrizada, que pode realizar um MCU. Associada a montagem há o estabelecimento de um campo magnético uniforme no plano perpendicular a página (função do IP). Também temos três botões de controle (b) da velocidade, carga e massa da partícula, e janelas (c) indicando o campo de força, a velocidade e a posição da partícula.

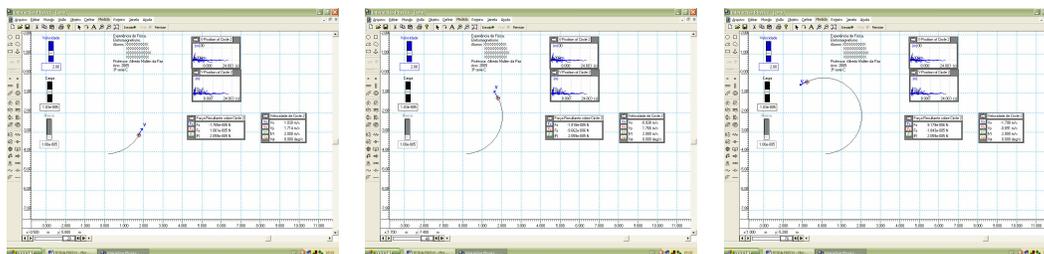


Figura 6.10: Mesma montagem 2b. Mostra três quadros em seqüência tentando evidenciar a dinâmica da simulação, de uma carga em MCU.

Partindo destas elaborações, os alunos, auxiliados pelo professor obtiveram a relação $B \propto \frac{F}{qv}$ chegando à equação: $F = qvB$, e com a definição de força centrípeta $F = m \frac{v^2}{R}$, trabalharam a relação $R = \frac{mv}{qB}$, construindo uma simulação onde poderia-se variar as grandezas massa (m), velocidade (v) e carga (q) de uma partícula dentro de um campo magnético (B), simulando a trajetória da partícula dentro deste campo.

Este é um segundo exemplo bastante freqüente nos livros didáticos como Ramalho (1986), Paraná (1993) e Alvarenga & Máximo (2000), onde, a utilização de modelos de estrutura ao nível de partícula é proposta para trabalhar os modelos por meio deste enfoque microscópico. Nesse caso, torna-se bastante difícil possibilitar ao aluno uma realidade física concretamente observável, já que no nível de partícula, esta ciência opera com modelos radicalmente abstratos e teóricos.

Numa situação de sala de aula no nível médio, não há como estabelecer correspondências diretas entre os modelos concretos de estrutura do movimento de partículas atômicas e suas propriedades, em uma atividade experimental tradicional. Assim, a construção da atividade experimental simulada nos possibilitou a oportunidade de preparar o aluno para entrar no estágio que poderíamos chamar de nível formal de pensamento (Piaget, 2002).

A nosso ver, a manipulação desse modelo virtual desenvolveu no aluno uma habilidade cognitiva essencial para a compreensão dos fenômenos do Eletromagnetismo na dimensão “microscópica”, que é a *espacialidade* das representações físicas. Trata-se portanto de conferir uma concretude à

representação física, necessária ao engajamento do aluno ao processo de transição de um nível concreto para o nível formal de pensamento.

Além disso, em termos de ensino aprendizagem de Física, trabalhamos os dois âmbitos do conhecimento físico (qualitativo e quantitativo), embora em momentos e situações didáticas diferenciadas. Ou seja, o qualitativo como possível e explícito nas atividades experimentais e o quantitativo como possibilidade na simulação.

A simulação da ATIVIDADE VIRTUAL III (indução eletromagnética), foi quase imediata, em razão dos alunos já conhecerem os múltiplos recursos do IP. Acrescenta-se a isto, o fato de os alunos associarem (colarem) figuras aos objetos de animação e, sobretudo conseguirem relacionar dinamicamente os objetos entre si (no caso o imã em movimento e o indicador do aparelho). Vemos isto na Figura 6.11 a seguir.

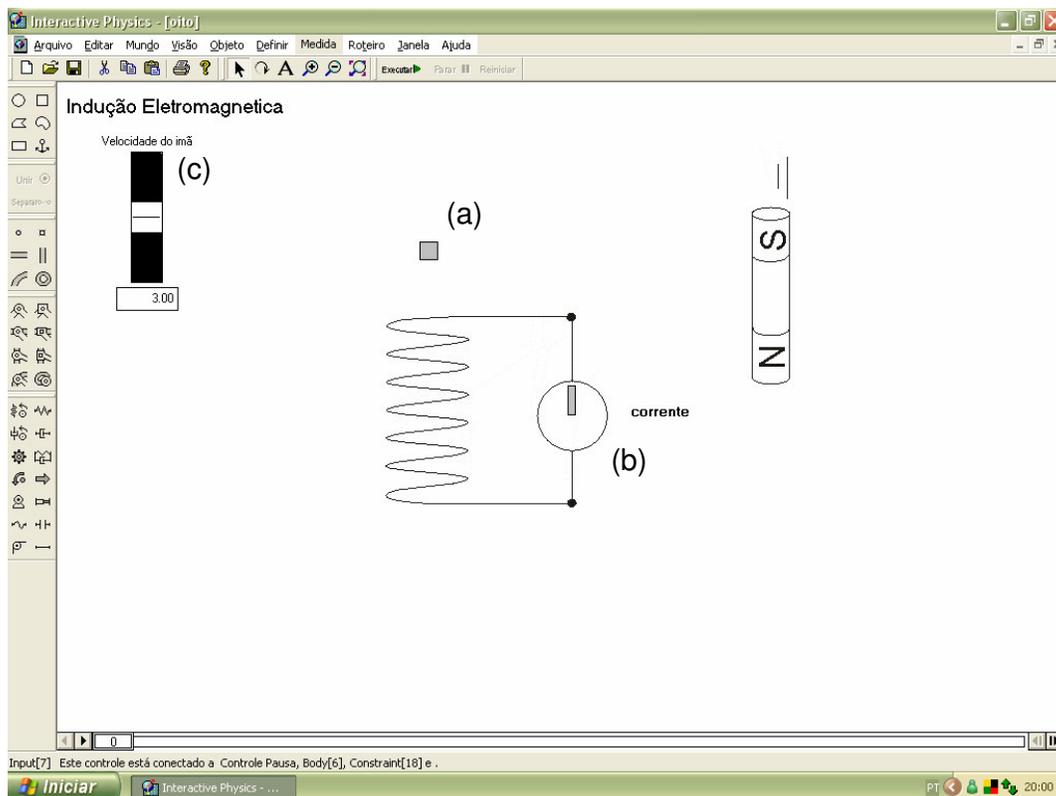


Figura 6.11: Montagem 3. Mostra a montagem virtual de um imã - (a) pequeno objeto quadrado que pode se mover na vertical. Um ponteiro - (b) pequeno objeto retangular que pode rotacionar, associado ao movimento do imã. Um botão de controle (c) de velocidade do imã e figuras ilustrativas (importadas de outros aplicativos) associadas a montagem.

A maior dificuldade desta simulação foi a associação matemática com um conceito abstrato, o fluxo magnético, especificamente sobre a variação do mesmo. Os alunos corretamente associaram a variação do campo (ou do fluxo magnético) a velocidade de queda do ímã, tanto que construíram um botão de controle da mesma.

Em relação a construção da relação matemática, na abordagem qualitativa, um dos obstáculos observados no capítulo 4 e discutido na aplicação das atividades experimentais pode ser superado. Como vimos, os alunos observarem a variação da corrente com o movimento do ímã, mas, a maior parte considerou a ddp constante. Tal obstáculo pôde ser transposto, com o estabelecimento de uma relação quantitativa entre não mais a ddp, mas uma nova grandeza assim definida, a força eletromotriz.

Para tal construção, a definição matemática prévia, por parte do professor, do fluxo magnético $\phi = BA \cos \theta$ foi fundamental. Associando, na simulação, a variação deste fluxo a velocidade do ímã, os alunos puderam chegar a relação da força eletromotriz $\varepsilon = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$. Apesar da difícil associação, a esta simulação também forneceu um resultado satisfatório, mais em função da dificuldade de construir as equações no IP. Aqui fica explícito que, o aprendizado quantitativo do fenômeno eletromagnético não se deve especificamente a mediação tecnológica da simulação, mas sim a interatividade professor e aluno.

6.3. Considerações da seqüência didática virtual complementar as atividades experimentais

Acreditamos que atividade escolar é uma atividade dinâmica constituída por inúmeros aspectos que se interferem entre si. Cada ano letivo e cada turma possuem características próprias, que lhes conferem uma certa exclusividade. Assim, no ambiente escolar, os resultados de uma determinada investigação dependem do contexto no qual é realizada e devem ser relativizados.

Os dados de uma investigação, por si sós, não são suficientes para generalizações e conclusões definitivas e é praticamente impossível uma interpretação exclusivamente analítica, assim, as explorações que realizamos não fornecem dados a serem utilizados como provas para as conclusões de nosso trabalho. Contudo elas podem servir de apoio para tais conclusões, fornecendo indicativos para verificarmos, até que ponto, os resultados de futuras pesquisas realizadas em outros contextos poderão se confirmar em nossa realidade.

Levando em conta as considerações anteriores, explicitamos que durante a aplicação da seqüência didática de simulação, no diálogo com os alunos, foram levantadas algumas opiniões e avaliação dos mesmos:

- As atividades experimentais físicas com a utilização do computador são muito mais interessantes.
- Podem-se também criar condições físicas experimentais diferentes e compará-las.
- Podem-se trabalhar os dados e resultados, com resposta imediata

Também foram levantados alguns pontos (positivos) e contrapontos (negativos) pelo professor:

Como efeitos negativos:

- A divisão de grupos mostrou-se pouco satisfatória, inibindo alguns componentes. Talvez isso melhorasse com a formação de grupos de no máximo dois alunos por computador.
- A dificuldade dos alunos em utilizar a nova ferramenta, o software Interactive Physics. Aqui, observamos que de acordo com a realidade escolar, devemos trabalhar com simulações fechadas³⁸, descartando trabalhar a construção das simulações pelos alunos, o que a princípio exigirá um tempo maior.

Como efeitos positivos:

³⁸ O aplicativo Interactive Physics possui algumas simulações fechadas (já prontas), mas potencializa a simulação aberta, embora seja um software proprietário.

- A utilização das tecnologias computacionais constituem um fator motivador e potencializador da aprendizagem científica e tecnológica.
- Atividades didáticas como esta permitem ao aluno inteirar-se das potencialidades da computação, como tecnologia inovadora e complementar das estratégias tradicionalmente utilizadas na prática experimental anterior do laboratório. Isso amplia o tratamento de dados experimentais em tempo real; obtenção de registros simultâneos de origens diversas, tais como força e campo eletromagnéticos, intensidade de corrente, etc., adequados a cada trabalho experimental e em intervalos de tempo pré-definidos; visualização destes dados na forma gráfica; tratamento matemático automatizado dos dados e também, na salvaguarda e impressão dos resultados obtidos para posterior interpretação e análise.

Notamos, apesar da dificuldade apresentada pelos alunos para utilizar a ferramenta IP, que a estruturação da aprendizagem conceitual “planificação” foi mais bem realizada na construção das simulações, ou seja, a passagem da visão anterior tridimensional dos objetos (conceitos do Eletromagnetismo) do experimento, aponta uma maior potencialidade na construção e visualização no plano bidimensional da tela do computador. Dito de outra forma, ultrapassado as dificuldades de utilização do IP, a princípio os alunos conseguiram trabalhar e transpor as grandezas físicas tridimensionais no plano bidimensional.

Podemos assim, sintetizar os avanços e obstáculos do trabalho realizado:

- Num primeiro momento, os conceitos físicos foram construídos através das atividades experimentais e verificados na simulação, fazendo-se uso dos recursos computacionais disponíveis no IP, tais como interface gráfica e a capacidade quantificar grandezas envolvidas utilizando equações e relações matemáticas abstratas.

- Num segundo momento, os conceitos físicos ainda não aprendidos são organizados em seqüências lógicas de operações matemáticas, e organizados conceitualmente no IP. Essa segunda parte permite reexaminar, checar, e até

estender esses conceitos físicos além dos limites reais onde foram historicamente construídos.

- Além disso, o âmbito complementar da simulação, exercita outro aspecto fundamental do processo de aprendizagem: o domínio da representação abstrata do problema (fenômeno físico), sem o qual é impossível organizar os conceitos no IP.

- Entre os alunos, esta atividade de simulação computacional realizada em grupo também incluiu tipicamente um componente lúdico e fortaleceu a interatividade, uma vez que a mesma ocorreu em grupos. Apesar de inicialmente objetivarmos trabalhar o individual, o trabalho em grupo, através do componente humano adicionou um aspecto sócio histórico e interacional a atividade. O aspecto de colaboração, passou a ser um fator importante para a aprendizagem nos grupos, durante as atividades de simulação.

- Num terceiro momento, o grupo testou as simulações elaboradas, aumentando a compreensão dos conceitos físicos, deixando algumas idéias equivocadas e verificando a necessidade de correção das representações, comparando, nos casos mais simples, relações feitas sem o uso do computador com os realizados nas simulações.

- O ciclo do ensino aprendizagem de física se fechou num quarto momento, quando as simulações feitas e testadas são percebidas como potentes ferramentas cognitivas para fortalecer a curiosidade epistemológica em relação aos temas de Física relacionados com o Eletromagnetismo.

O aluno tem agora a oportunidade de imaginar variações, práticas ou teóricas, dos conceitos físicos estudados, sem ter que realizar longas contas passíveis de erro para cada idéia física associada. O que observamos foi que vários alunos partiram para a experimentação de conjecturas criativas e possíveis derivações teóricas dos conceitos físicos ensinados, muitas vezes resultando em novas idéias, que por sua vez também podem ser simuladas, recomeçando assim o ciclo da aprendizagem.

7. COMENTÁRIOS FINAIS

7.1 Avaliação final

Uma contribuição complementar ao nosso trabalho foi a realização, ao final do processo, de uma avaliação na forma de uma prova escrita referente aos aspectos qualitativos dos conceitos estudados. Uma cópia da prova é mostrada no apêndice III, tal qual foi aplicada.

A distribuição do conteúdo seguiu a mesma ordem da seqüência didática, qual seja, geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica; ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica e geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável.

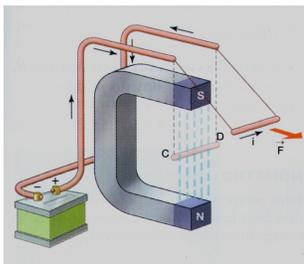
A prova foi dividida em sete questões essencialmente discursivas de análise e interpretação. Consta de três modos de interpretação, desenhando o fenômeno, interpretando um desenho já estudado e interpretando um novo desenho. Após cada pergunta, eram deixadas linhas em branco para a resposta dos alunos. A seguir apresentamos as questões, onde omitimos os espaços deixados para as respostas.

1) Discutir a experiência de Oersted, mostrando o comportamento da agulha com o circuito aberto e fechado. Qual a relação entre eletricidade e eletromagnetismo? Qual é “forma” do campo em torno do fio?

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

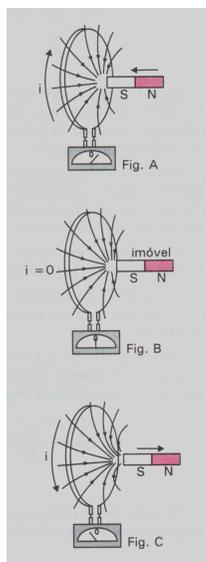
2) Como são linhas de campo magnético em torno de um fio reto em que passe uma corrente elétrica no mesmo? Como se determina o sentido deste campo? (pode desenhar atrás da folha)

3) Como é o campo magnético de uma espira circular (caso específico no centro)? (pode desenhar atrás da folha)



4) Como é o campo magnético de um solenóide (caso específico dentro)? (pode desenhar atrás da folha)

5) Analise a figura ao lado. Como são as linhas de indução neste experimento? O que acontece com o fio, quando atravessado por uma corrente elétrica? Como podemos saber o sentido da força? O que acontece quando invertemos a corrente?



6) Analise a figura ao lado: O que acontece quando movimentamos o fio dentro do campo magnético? Como se comporta a diferença de potencial entre os extremos do fio e, neste caso como é chamada?

Como chamamos a corrente que aparece no fio?

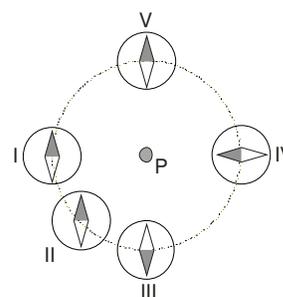
O que acontece quando paramos o movimento?

O que acontece com a corrente induzida, quando invertemos o movimento do fio?

Como podemos determinar o sentido da corrente induzida na espira?

Explique este fenômeno, descrevendo o que está acontecendo nas figuras, A, B e C.

7) Um estudante coloca uma bússola (agulha magnética) em cinco posições diferentes a mesma distância radial de um fio retilíneo e muito longo, percorrido por uma corrente elétrica constante e colocado perpendicularmente ao plano da página no ponto P. Desprezando os efeitos do campo magnético terrestre em relação ao produzido por essa corrente, qual a posição que indica corretamente o alinhamento da bússola?



A ⇒ I

B ⇒ II

C ⇒ II

D ⇒ IV

E ⇒ V

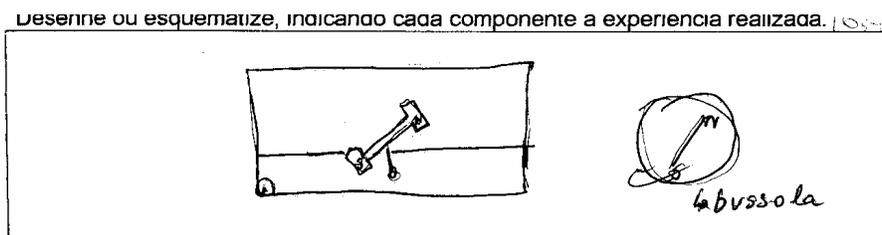
Justifique sua resposta:

As respostas da primeira a quarta questões foram satisfatórias, onde inferimos que a maior parte dos alunos conseguiram transpor os obstáculos e chegar a um modelo mais próximo do científico. Notamos uma sensível melhora, em relação aos primeiros roteiros das atividades experimentais, no linguajar dos alunos e fundamentalmente nos desenhos realizados. Ilustramos nossa conclusão comparando duas respostas com as respectivas reproduções dos desenhos solicitados na primeira questão. A primeira é do aluno MJA, uma das mais elaboradas e a segunda, do aluno ACV, uma das menos completas.

MJA: Na experiência de Oersted, a agulha colocada abaixo do fio, inicialmente com o sistema aberto sem passagem de corrente elétrica, se orienta no sentido norte sul geográfico (no qual o fio está alinhado). A partir do momento em que há a presença de uma corrente elétrica e um campo magnético passa a interagir, a agulha magnética passa a orientar-se no sentido leste oeste. Há relação entre eletricidade e magnetismo e a forma do campo no fio é circular em torno do mesmo.



ACV: Ele pegou um fio de cobre e coloca em baixo do fio, quando ligada a agulha fica na mesma direção do fio, ou seja na direção n-s. Quando o circuito ta aberto não tem corrente, ou seja, a agulha é paralela ao fio de cobre, mas quando o circuito é fechado há corrente, ou seja, a agulha fica perpendicular ao fio. A forma é circular.



Na quinta e sexta questões, invertemos o modo de representação. Em razão do tempo reduzido de resolução da prova e também para verificar a interpretação dos alunos de uma figura tal qual apresentada nos livros didáticos. As respostas, ao nosso ver, não foram muito alentadoras. Mais em razão da dificuldade de expressão escrita do que na dificuldade de aprendizado dos conceitos.

Em relação as respostas da questão cinco, essas ilações ficam claras nas respostas de PTB e explicitamente nas respostas de MEL, que descreve as linhas de indução entre os pólos do imã, como “dentro” do imã.

PTB: a) Do sul para o norte – b) provoca uma força magnética, para saber seu sentido usa-se a regra da mão direita –c) o sentido da força muda.

MEL: a) São paralelas e retilíneas dentro do imã – b) o fio se move para saber o sentido da força – c) inverte a força também.

As mesmas ilações são observadas em relação as respostas da questão seis. Contudo a maioria dos alunos transpôs o obstáculo inicial sobre a f.e.m. gerada, considerada na aplicação da terceira atividade experimental (página 147), onde consideravam a ddp constante. Como exemplo apresentamos as respostas também de PTB e MEL.

MEL: a) Aparece uma ddp que depende do movimento do fio – b) induzida – para a corrente – c) inverte a corrente induzida também.

PTB: a) O fio induz a corrente e a ddp se comporta como uma força eletromotriz – b) corrente induzida – c) a corrente fica nula – muda de sentido.

A sétima questão foi provocativa, já que podemos considerar como “pegadinha”³⁹ da experiência de Oersted. Iremos comparar, apesar de até aqui não termos feito, os resultados do grupo de alunos que realizaram todas as atividades e os do grupo que realizaram parte das mesmas (ver gráfico 4.1a na página 130). Assim observamos que em relação ao primeiro grupo, a quase totalidade (26 dos 27) assinalou a opção correta I, já em relação ao segundo grupo somente 42% (20 dos 47) assinalaram a opção I. Ao nosso ver, isto é um importante indicativo de validação de nossas hipóteses iniciais, em que uma abordagem que priorize o aluno transitar entre os planos tridimensionais nas atividades experimentais e o plano bidimensional dos desenhos é fundamental para o aprendizado dos conceitos de Eletromagnetismo.

Finalmente, apesar de quantificarmos individualmente a correção da prova para os alunos, consideramos irrelevante para o nosso trabalho estes valores individuais. Contudo, podemos salientar que, ao final do processo os alunos participantes ficaram acima da média dos conceitos esperados em uma turma de ensino regular.

³⁹ Questão que aparece em provas de vestibular, que se aproveita de uma freqüente generalização no estudo da experiência de Oersted, ao afirmar que a agulha magnética fica perpendicular ao fio. Esta generalização se torna um obstáculo pedagógico, na medida em que não é discutido convenientemente o plano de visualização do fio e da agulha.

7.2. Comentários Finais

Ao longo do capítulo II, defendemos a importância do pensamento epistemológico para a pesquisa em ensino de ciências, de um modo geral. Apresentamos as principais características da epistemologia bachelardiana e a forma pela qual percebemos sua inserção no ensino de Física. A aplicação desse referencial teórico ao problema da conceitualização do campo eletromagnético, na seqüência do trabalho, propiciou-nos a utilização de noções como as de obstáculo epistemológico e de obstáculo pedagógico na interpretação de nossos dados.

Tais noções foram significativas e pertinentes no desenvolvimento de um modelo de ensino aprendizagem, permitindo ir além da simples constatação da existência de concepções (que diferem da visão científica) dos alunos a respeito do Eletromagnetismo. As noções bachelardianas permitiram estabelecer para o nosso modelo uma estrutura, além de fornecer uma base teórica para pensarmos a conceitualização em termos de um progresso epistemológico que tem paralelos com visões históricas. Assim, foi possível delinear uma "rota genética" para a conceitualização do campo eletromagnético (em sintonia com os estudos piagetianos), um processo ao longo do qual o conhecimento dos obstáculos desempenha um papel essencial.

O cenário que se descortina para o ensino do Eletromagnetismo no Ensino Médio, certamente, em função do quadro de conhecimentos apresentados neste trabalho poderá configurar numa forma alternativa de reestruturar as atividades curriculares atuais. A necessidade de impor um ambiente didático que privilegie elementos concretos é de extrema importância, pois irá potencializar a compreensão das gravuras e ou esquemas dos livros didáticos.

Nesta direção apontamos para elaboração de uma seqüência didática experimental da categoria modelizadora qualitativa, onde o professor com auxílio de dispositivos introduz um aporte teórico para a fenomenologia do Eletromagnetismo. Os objetivos destas atividades são a visualização dos

elementos (dispositivos) envolvidos e a associação das variáveis eletromagnéticas e sua distribuição espacial.

A posteriori ao domínio da organização e distribuição tridimensional dos elementos, pressupomos constar a etapa de associação das variáveis eletromagnéticas a cada elemento e discutimos a interação das mesmas, fornecendo uma seqüência didática modelizadora, contemplando três atividades experimentais: Atividade I: geração de um campo magnético a partir de uma corrente elétrica; Atividade II: ação de um campo magnético sobre uma corrente elétrica e Atividade III: geração de uma corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável. Ao término desta etapa, já há indicativos que os alunos apresentam certo domínio das variáveis eletromagnéticas e sua interação no espaço tridimensional sob o ponto de vista qualitativo.

Conhecendo-se o fenômeno eletromagnético preliminarmente através de uma atividade experimental, a posterior elaboração do desenho bidimensional, foi possível, aos alunos, entender e conceber mentalmente a forma espacial representada na figura plana. Na prática pode-se dizer que, para interpretar um desenho ilustrativo tridimensional, foi necessário enxergar o que não é visível e ter a capacidade de entender uma forma espacial a partir de uma figura plana.

Para os alunos, tal como a linguagem verbal escrita exige alfabetização, a interpretação de um desenho da maioria dos conceitos de Eletromagnetismo, numa linguagem gráfica, exige um aprendizado específico, porque são utilizadas figuras planas (bidimensionais) para representar formas espaciais, mas, principalmente, os campos, que exigem uma significativa abstração.

Por outro lado, a operacionalidade matemática dos conceitos envolvidos nos levou a um caminho alternativo, baseado na utilização de atividades experimentais virtuais como desencadeadoras de interação entre o professor e o aluno. Este pesquisador, desempenhando o papel de professor ou parceiro mais capaz, pôde apresentar algumas idéias iniciais que, embora distantes de formalismos sofisticados das equações do Eletromagnetismo, são, a nosso ver, suficientes para o nível de Ensino Médio.

Podemos inferir que, ao contrário do que muitos professores ingenuamente pensam, a visualização dos fenômenos apresentados não permitem aos alunos compreenderem ou descobrirem o que os provoca, mas os predispôs e, às vezes, até os desafiou a entender o que acontece. Essa predisposição para o entendimento criou e enriqueceu o intercâmbio de informações por meio dos quais o professor as explicava, apresentando os modelos teóricos que a Física construiu. Além disso, pudemos verificar que a utilização de uma metodologia de ensino diferenciada, na qual são estimulados perguntas e comentários, propiciou o desencadeamento de idéias novas nos alunos e proporcionou um clima ótimo em sala de aula.

Após a aplicação desta seqüência experimental foi aplicada uma seqüência virtual modelizadora quantitativa através de simulação computacional. A simulação se justifica pelo fato do aluno já dominar espacialmente as variáveis e também se torna importante na medida em que o mesmo se torne um participante.

Propomos então a utilização, por parte do aluno, de um aplicativo computacional de simulação. Verificamos que, através de uma atividade simulada, o mesmo pôde usufruir um ambiente aliciante e estimulante, até para vencer eventuais resistências a uma tecnologia (no caso o computador) que explora novas estratégias de ensino.

Na simulação, a imagem não foi simplesmente uma representação mas apresentação, em que a mesma não é mais figurativa, mas é também funcional. É fundamentada na realidade, reencontrada por novos caminhos para a construção do modelo. A base dessas redistribuições é a constituição de objetos virtuais numericamente modelizados.

As representações virtuais apresentadas não foram só imagens, mas modalidades de interação com o modelo mental, destinadas a conduzir as atividades experimentais virtuais simuladas e a recolher as informações pertinentes. Assim, a simulação apareceu como uma dimensão do real, não voltada simplesmente a substituí-lo, mas aliada ao recurso da atividade experimental.

Mesmo com a limitação na produção do número de simulações necessárias para a modelização desejada, a aplicação das seqüências virtuais de simulação foi fundamental na superação dos obstáculos de aprendizagem. Assim, utilizando-se de um modelo com atividades experimentais aliadas a atividades virtuais de simulação, verificamos que os alunos transpuseram os obstáculos de aprendizagem dos conceitos de Eletromagnetismo, validando nossa tese. Nesta associação de atividades, os alunos apresentaram um melhor entendimento das interações e comportamento das variáveis eletromagnéticas no espaço tridimensional e, transitaram com mais facilidade entre os planos tridimensionais nas atividades experimentais e o plano bidimensional dos desenhos e da planificação nas atividades virtuais.

A realização de tais atividades também permitiu a modelagem matemática após a construção dos conceitos. A superação dos obstáculos da simplificação matemática foi efetivada, segundo a nossa tese, através da análise do comportamento das variáveis no espaço tridimensional das atividades experimentais, juntamente a construção de uma relação qualitativa destas variáveis na atividade virtual simulada. Nestas atividades, os alunos puderam ampliar o tratamento de dados experimentais em tempo real, adequar cada atividade em intervalos de tempo pré-definidos, visualizaram os dados graficamente e, realizaram um tratamento matemático automatizado.

A definição de um modelo alternativo de Eletromagnetismo, que atinja um bom desenvolvimento do processo cognitivo no aluno de uma forma que se faça uma interação dele com o meio, é um processo lento que exige muito estudo, cautela, persistência e acima de tudo coragem. A proposta de construção desse modelo, não deve ser entendida como uma simples mudança na ordem de apresentação dos tópicos do Eletromagnetismo, mas sim com base em uma Transposição Didática com uma abordagem seqüencial, auxiliada pela reconstrução histórica dos conceitos envolvidos, onde se privilegia a visualização espacial nas atividades experimentais, fortalecida por atividades simuladas complementares a seqüência experimental, contemplando as aplicações tecnológicas e as relações cotidianas vivenciais dos alunos de Ensino Médio.

8. BIBLIOGRAFIA

8.1. Referências Bibliográficas

ALMOULOUD, S. A. Fundamentos da Didática da Matemática e Metodologia de Pesquisa. Caderno de Educação Matemática, Vol. III, PUC-SP, 1997.

ALTET, M. As pedagogias da Aprendizagem, Coleção Horizontes Pedagógicos. Editora do Instituto Piaget, Lisboa, 1997.

ALVARENGA, B. & MÁXIMO, A. Curso de Física. Vol.3. São Paulo: Spicione, 2000.

ASTOLFI, J.P. El "Error", um médio para ensinar. Trad. Angel M. Geidhoff. Sevilla (Espanha): Diada, 1999.

ASTOLFI, J.P. & DEVELAY, M. A didática das ciências. São Paulo: Papyrus, 2001.

BACHELARD, G. Conhecimento comum e conhecimento científico. In: Tempo Brasileiro. São Paulo, n. 28, p. 47-56, jan-mar 1972.

BACHELARD, G. O Racionalismo Aplicado. Trad. Nathanael C. Caixeiro. Rio de Janeiro: Zahar, 1977.

BACHELARD, G. A filosofia do não; O novo espírito científico: A poética do espaço. In: Os pensadores. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

BACHELARD, G. O Materialismo Racional. Trad. João Gama. Lisboa: Edições 70, 1990.

BACHELARD, G. A formação do Espírito Científico. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BASSANEZI, R. A modelagem matemática. Dynamis, Blumenau, 1 (7), 55-83, abr/jun, 1994

BECKER, F. A epistemologia do Professor: O cotidiano da Escola, Petrópolis, RJ: Vozes, 1993.

BECKER, F. Ensino e construção do conhecimento: o processo de abstração reflexionante. Educação e Realidade, Porto Alegre. Vol18, n.1. Jan/Jun. 1993.

BLISS, J. & OGBORN, J. Tools for Exploratory Learning Programme - Technical Report 3: Semi-quantitative Reasoning - Exploratory (ESRC Information Technology In Education Initiative - End of Award Report). King's College London, Imperial College, Institute of Education – London, 1992.

BORGES, A. T. Um Estudo de Modelos Mentais. Investigações em Ensino em Ciências. Porto Alegre, Vol. 2, Nº 3, 1997.

Disponível on-line em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/borges.htm>

BORGES, A. T. Como Evoluem os modelos mentais. Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências. Belo Horizonte. Vol. 1, Nº 1, 85-125,1999.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCNs Ensino Médio: Parte I - Bases Legais. Brasília: MEC, SEMTEC, 2000.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCNs Ensino Médio: Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2000.

BROUSSEAU, G. Problèmes de Didactique des Décimaux. Recherches em Didactique es Mathématiques. Vol. 2.1, Paris, 1981.

BROUSSEAU, G. Fondements et Méthodes de la Didactique des Mathématiques. Recherches em Didactique es Mathématiques. Paris: Equipe Didirem, 1986.

BUNGE, M., Filosofia da Física. Lisboa, Portugal: Edições 70, 1973.

BUNGE, M. Teoria e realidade. São Paulo: Perspectiva, 1974.

BUNGE, M. Natureza dos objetos conceituais. In: Bunge, M. Epistemologia: Curso de atualização. (tradução Cláudio Navarra). P.39-50, São Paulo: EDUSP, 1980.

CAMPOS, G. H. B. Metodologia para avaliação da qualidade de software educacional. Diretrizes para desenvolvedores e usuários. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado.COPPE/UFRJ, 1994.

CANGUILHEM, G. L'Histoire dès Sciences dans l'oeuvre épsitemologique de Gaston Bachelard. (tradução livre). Vrin, Paris, 1968.

CASAS, L. A. A. Contribuições para a Modelagem de um Ambiente Inteligente de Educação Baseado em Realidade Virtual, Tese de Doutorado em Engenharia de Produção. Florianópolis, UFSC, 1999.

CHEVALLARD, Y. La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1985.

CHEVALLARD, Y. La Transposition Didactique- du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble: La Pensée Sauvage Éditions, 1991.

CLÉMENT, E. et alii, Dicionário Prático de Filosofia. Trad. De Manuela Torres. Lisboa, Terramar, 1994.

COSTA, M. E. M. & XEXÉU, G. A Internet nas Escolas: Uma Proposta de Ação. Atas do VII Simpósio Brasileiro de Informática e Educação - SBIE Belo Horizonte, MG, 1996.

DELIZOICOV, D. & Angotti, J.A.P., Física. São Paulo. Cortez, 1992.

DRIVER, R. Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. Enseñanza de las Ciencias, Vol. 4, nº1, p. 3-15, 1986.

DRIVER, R., LEACH, J., SCOTT, P. & WOOD-ROBINSON, V. Young people's understanding of science concepts: Implications of cross-age studies for curriculum planning. Studies in Science Education, Vol. 24, pp. 75-100, 1994.

DRUCKER, P. F. A sociedade pós-capitalista. 2ª. ed. São Paulo: Pioneira, 1993.

FINO, C. N. Um software educativo que suporte uma construção de conhecimento em interacção. Departamento de Ciências da Educação da Universidade de Madeira. Portugal, 1998. Disponível on-line em: http://www.minerva.uevora.pt/simposio/comunicacoes/Carlos_Fino.html

GALIAZZI, M.C. e outros, Objetivo das Atividades Experimentais no Ensino Médio: a Pesquisa Coletiva como modo de Informação de Professores de Ciências. Ciência e Educação. Vol. 7, nº2, p.249-263. São Paulo: UNESP, 2001.

GALVIS, A. G. P. Software educacional multimídia. Aspectos críticos no seu ciclo de vida. Revista Brasileira de Informática na Educação. Nº1, Florianópolis, 1997.

GALVIS, A. G. P. Materiales Educativos Computarizados. In *Revista Informática Educativa*, Editado por Universidad de los Andes, Vol 1, Nº. 3, Bogotá, 1988.

GAONAC'H, D. & GOLDER, C. Profession Enseignant: Manual de Psychologie pour l'enseignement. Paris: Hachette Education, 1995.

GASPAR, A. FÍSICA. Vol.3. São Paulo: Ática, 2000.

GENTNER, D. & GENTNER, D. R. (1983). Flowing waters or moving crowd: Mental models of electricity. In D. Gentner and A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, pg 99-130, 1983. Disponível on-line: <http://www.psych.northwestern.edu/psych/people/faculty/gentner/papers/GentnerGentner83.pdf>

GILBERT, W. De Magnete, reprodução da tradução de Mottelay, São Paulo: Dover Books, 1991

GIRAFFA, L. M. Seleção e adoção de Estratégias de Ensino em Sistemas Tutores Inteligentes. Exame de Qualificação (Doutorado em Ciência da

Computação. Instituto de Informática) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

GRECA, I. & MOREIRA, M.A. Un Estudio Piloto sobre Representaciones Mentales, Imágenes, Proposiciones y Modelos Mentales respecto al concepto de Campo Electromagnético en alumnos de Física General, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre, 1996. Disponível on-line em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/N1/5artigo.htm>

HODSON, D. Is this really what scientists do? Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. In: WELLINGTON, J. Practical Work in school science: which way now? London: Routledge, 1998.

INTERACTIVE PHYSICS, User's Manual. MSC. Software Corporation Working Knowledge, San Mateo, Califórnia, 2000.

JAPIASSÚ, H.. Para ler Bachelard, Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1976.

JAPIASSÚ, H. & MARCONDES, D. Dicionário básico de filosofia. 3.ed. Jorge Zahar, Rio de Janeiro. 1996.

JOHSUA, S & DUPIN, J.J. Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. PUF, Paris, 1993.

KAHN, B. Os computadores no Ensino de Ciências. Publicações Dom Quixote – Nova Enciclopédia, 1995.

KUHN, T.S. A estrutura das Revoluções Científicas. São Paulo: Perspectiva. 1978.

LAUDAN, L. Science and values: the aims of science and their role in scientific debate. Berkeley: University of California Press, 1984.

LEVY, P. As tecnologias da inteligência. O futuro do pensamento na área da informática. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

LOEDEL, E. Enseanza de la Física. Buenos Aires: Kapelusz, 1949

LOPES, A.R.C., Bachelard: O Filósofo da Desilusão. Caderno Catarinense de Ensino de Física. V.13, N°3, p.248-273, 1996.

LAJONQUIÈRE, L. De Piaget a Freud: a (psico)pedagogia entre o conhecimento e o saber. Petrópolis, RJ: Vozes, 1992

MANUAL DO ALUNO, Colégio de Aplicação. CED. UFSC. Florianópolis, 2005

MARQUES, C. P. C., MATTOS, M. I. L., TAILLE, Y. Computador e Ensino. São Paulo, SP, Atica, 1986

- MARTINAND, J. L.(1986), Enseñanza y a aprendizaje de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 1986.
- MARTINS, R. Oersted e a descoberta do Eletromagnetismo. Cadernos de História e Filosofia da Ciência. Vol.10, p.89-114, 1986.
- MARTINS, R. Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do Eletromagnetismo. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Vol. 5, Número Especial, p. 49-57, 1988.
- MEDEIROS, A. & MEDEIROS, C.F., Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física. Revista Brasileira de Ensino de Física, SBF, São Paulo, 77-86, vol.24, nº2, junho 2002.
- MOREIRA, M. A. Modelos Mentais. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 95-108, dez. 1996.
- MORGADO, L. O lugar do hipertexto na aprendizagem. Universidade Aberta – Departamento das Ciências da Educação. 1996. Disponível on-line em: <http://phoenix.sce.fct.uni.pt/simposio/24.htm>
- OERSTED, H.C. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. Tradução e comentários de Roberto de A. Martins. Cadernos de História e Filosofia da Ciência. Vol.10, p.115-122, 1986.
- PAIS, L. C. Didática da Matemática: uma Análise da Influência Francesa. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.
- PAPERT, S. Logo: Computadores e educação. São Paulo : Brasiliense, 1986.
- PAPERT, S. A máquina das crianças. Porto Alegre: Artes Médicas, 1994.
- PARANÁ, D. J., FÍSICA. Vol.3. São Paulo: Ática, 1993.
- PAZ, A. M. Ensino experimental de Física, assistido por computador, na escola formal de 2º grau de Institutos de Ensino Superior. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFSC, 1999.
- PERRELI. M. A. S. A Transposição Didática no Campo da Indústria Cultural: Um estudo dos condicionantes dos conteúdos dos livros didáticos de ciências. UFSC. Florianópolis, SC, 1996.
- PIAGET J. A equilibração das estruturas cognitivas - problema central do desenvolvimento. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.
- PIAGET, J. Epistemologia Genética. São Paulo: Martins Fontes, 2002.
- PIAGET, J. & outros. Abstração reflexionante: relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

- PIAGET, J. & GARCIA, R. Psicogênese e história das ciências. Lisboa: Don Quixote, 1987.
- PIETROCOLA, M. Construção e Realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. Investigações em ensino de Ciências. Vol. 4, n. 3, dezembro de 1999. Disponível on-line em: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n3/v4_n3_a3.htm
- PINHEIRO, T. F., Aproximação entre a Ciência do Aluno na Sala de Aula da 1ª Série do 2º Grau e a Ciência dos Cientistas: Uma Discussão. Dissertação de Mestrado em Educação, Florianópolis, UFSC, 1996.
- PINHEIRO, T.F, PINHO ALVES, J & PIETROCOLA, M. Modelização de Variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador no conhecimento científico. In. PIETROCOLA, M. (Org.) Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis. P. 9-32. UFSC, 2001.
- PINHO ALVES, J. Atividades experimentais: do Método a Prática Construtivista. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- PINHO ALVES, J., PINHEIRO, T.F & PIETROCOLA, M. Eletrostática como exemplo de Transposição Didática. In. PIETROCOLA, M. (Org.) Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: UFSC, 2001.
- RAMOS, E. M. F. Análise ergonômica do sistema hiperNet buscando o aprendizado da cooperação e autonomia. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Florianópolis, UFSC, 1996.
- RESENDE, F. Desenvolvimento e Avaliação de um Sistema Hipermídia para facilitar a Reestruturação conceitual em Mecânica Básica. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis: UFSC, 18 (2), 197-213, 2001.
- RICARDO, E.C., Implementação dos PCN em Sala de Aula. Física na Escola, v. 4, n. 1, 2003
- RICHARD, J. F. As Atividades Mentais: Compreender, Raciocinar, Encontrar Soluções, Mimeo. Florianópolis: UFSC, 1993.
- ROBILOTTA, M. R. & BABICHAK, C.C. Definições e Conceitos em Física. Ensino da Ciência Leitura e Literatura. Caderno CEDES 41, Campinas: UNICAMP, 1997.
- ROCHA, J.F.M.(Org.) et alii, Origens e evolução das Idéias da Física. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROSITO, B. E. O Ensino de Ciências e a Experimentação. In: Construtivismo e Ensino de Ciências. MORAES, R. (organizador). Porto Alegre: EDIPUCRS, 195-208, 2000.

SALZMAN, M. C. DEDE, C. & LOFTIN, R. B. Usability and Learning in educational virtual realities. 1995. Disponível on-line: <http://www.virtual.qmu.edu/usabpdf.htm>

SANTOS, J. N. & TAVARES, R., Animação Interativa como Organizador Prévio. In: XV SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, Curitiba/PR, 2003.

SANTOS NETO, E.R. & PIETROCOLA, M., Identificando o obstáculo cultural em aulas de física do ensino médio. Atas do V ENPEC, Bauru, 2006. Disponível on-line em: <http://www.fc.unesp.br/abrapec/venpec/atas/conteudo/artigos/3/doc/p814.doc>

SILVA, N.M.D. A construção do objeto da História das Ciências em Gaston Bachelard. Filosofia em Revista, N°5, UFMA, 1986.

SILVA, E.O. Restrição e Extensão do Conhecimento nas Disciplinas Científicas do Ensino Médio: Nuances de uma "Epistemologia de Fronteiras". Investigações em ensino de Ciências. Vol. 4, n. 1, março de 1999. Disponível on-line em: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol4/n1/v4_n1_a2.htm

SILVER, B.L. A escalada da ciência. Tradução de Arno Blass. Florianópolis: UFSC, 2003.

SOUZA CRUZ, F.F.S. Mesa Redonda: Influência da História no Ensino de Física. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Vol. 5, Número Especial, p. 76-92, 1988.

SOUZA CRUZ, F.F.S. Editorial. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Vol. 6, Número Especial, p. 5-8, 1989.

SOUZA CRUZ, F.F.S. Faraday & Maxwell. Luz sobre os campos. Imortais da Ciência. São Paulo. Odysseus, 2005.

SOWA, J. F. Conceptual Structures Information Processing in Mind and Machine. MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1984.

STEED, M. S., A Simulation Construction Kit: Cognitive Process and Educational Implications. Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, 11, 39-52, 1992.

TAVARES, V. L. Introdução dos computadores nas escolas: problemas e estratégias. Congresso: "Computadora Educacion y Sociedad." Santo Domingo, 1992. Anais.: Tumo II, pg. 491 - 497. Santo Domingo: Cytod-D, 1992.

TOMAZELLO, M.G.C. & GURGEL, C.M.A. A prática experimental em Física: Como ir além?. In. TOMAZELLO, M.G.C. (org.), A experimentação na aprendizagem de conceitos físicos sob a perspectiva Histórico-Social. Piracicaba: UNIMEP/CAPES/PROIN, p.11-32, 2000.

TRINDADE, J.A. O. Os Obstáculos Epistemológicos e a Educação Matemática. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. Hermann, Paris. 153 p. 1979.

VOSNIADOU, S. & BREWER, W.F. (1992). Mental models of the earth. *Cognitive Psychology*, Vol. 24, pg 535-585, 1992. Disponível on-line em: <http://www.psych.uiuc.edu/~wbrewer/>

WATTS, D. M. & ZYLBERSTAJN, A. A survey of some ideas about forces. *Physics Education*, 16, 360-365, 1981.

WAZLAWICK, R. S. Agentes Autônomos e Teoria da Equilíbrio Cognitiva. In: Cybis, W. (Org.) Ciências Cognitivas e a Concepção de Sistemas de Informação. Gênese: Curitiba, 1996.

8.2. Bibliografia Consultada

ALVES F^o, A. e outros. Física. Volume 3, São Paulo: Ática, 1986.

AMARAL I.A. Conhecimento formal, experimentação e estudo ambiental. *Ciência & Ensino*. 3. Dez. p. 10-15,1997.

ARRUDA, S. M. & LABURU, C. E. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. *Ciência e Educação* 3. UNOESC. São Paulo. P. 14-24. 1996

BAROLLI, E. & VILLANI, O Laboratório Didático e subjetividade. Resumos VI EPEF, Florianópolis/SC, p. 38-41, 1998,

BORGES, A. T. Mental Models of Electromagnetism. Tese de doutoramento, Department of Science and Technology Education, Reading University, UK, 1996.

BORGES, A. T., O papel do laboratório no ensino de Ciências. Atas do I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. MOREIRA, M.A. et alii (org.) Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 1997.

CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de Física. Florianópolis, UFSC, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 18, n^o. 2: p. 214-228, 2001.

CASAS, L. A. A. Ensino Assistido por Computador: Modelagem de um Gerador de Materiais Educativos Computadorizados num Ambiente Multimídia, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Florianópolis, UFSC, 1994.

COLINVAUX, D. (org.) Modelos e Educação em ciências. Rio de Janeiro. Ravel. 1998.

CORDOVA, R.S. et alii, Simulación computacional de experiencias de física moderna, Florianópolis, Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.9, no. 2: p.147-151, ago. 1992.

COSTA, R.Z. & VILLANI, A. O envolvimento dos estudantes em um laboratório didático de Física. Atas do V EPEF Águas de Lindóia/SP p.50-58.

DETSCH, J. O ensino de física e o uso de material concreto: concepções epistemológicas. Resumos VI EPEF, Florianópolis/SC, 1998, p. 281-283.

DWYER, T. D. *Heuristic Strategies for Using Computers to Enrich Education, por International Journal of Man-machine Studies*, 6, Estados Unidos de América, 1974.

DRIVER, R. The representation of conceptual frameworks in young adolescent science students. Urbana: University of Illinois, 1973.

DRIVER, R. Pupils' alternative frameworks in science. European Journal of Science Education, 3, 1, 93-101, 1981.

FORRESTER, J. W. Industrial Dynamics. Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1961.

FORRESTER, J. W. Principles of Systems. Productivity Press, Portland, Oregon, 1968.

FORRESTER, J. W. Urban Dynamics. Productivity Press, Portland, Oregon, 1969.

FORRESTER, J. W. Word Dynamics. Wright-Allen Press, inc, Cabridge, Massachusetts, 1973.

FOUREZ, G. Alfabetización Científica y Tecnológica: acerca de las finalidades de las enseñanza de las ciencias. Ediciones Colihue, Buenos Aires, Argentina, 1997.

FOUCAULT, M., "A Arqueológica do Saber". Trad. de Luiz Felipe Baeta Neves, Petrópolis, Vozes, 1972, p. 231

FRANCO, H. Nascimento do Eletromagnetismo - Modelos Mecânicos do Éter. Apostila de Evolução dos Conceitos da Física. Publicação IFUSP 1336/98; 2ª edição, 2002.

GIL-PÉREZ, D. Differences entre "modeles spontanés", modeles enseignes et modeles scientifiques : quelques implications didactiques. A. Giordan, J. L. Martinand, Actes JES, 9, 1987.

GIORDAN, A. Representaciones sobre la utilización didáctica de las representaciones. Enseñanza de las Ciencias, 7 (1) 53-62, 1989.

GONÇALVES, M.I.R. Internet em Educação. Módulos del Primer año del Máster Universitario en Nuevas Tecnologías de la Información y de la Comunicación. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Espanha, 2002. Disponible on-line em:
<http://www.uned.es/ntedu/espanol/master/primeromodulos/internet/colint.htm>

GREGORY, F. Oersted and the Discovery of Electromagnetism. Episodes in Romantic Science. Princeton Univ. Press, 1999. Disponible on-line em:
<http://www.clas.ufl.edu/users/fgregory/oersted.htm>

HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. Studies in Science Education, New York, no. 12, p. 25-57, 1985.

HODSON, D. The nature of scientific observation. Science education Review. 68, 17-29. 1986.

HODSON, D. Investigación y experiencias didácticas: hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. Enseñanza de las Ciencias, Vol. 12, nº3, 299-313, 1994.

JOHNSON-LAIRD, P.N. Mental models. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1983.

KURTZ DOS SANTOS, A. C. & OGBORN, J. A Model for Teaching and Research into Computational Modelling. Journal of Computer Assisted Learning. Vol.8, Nº2, 1992.

KURTZ DOS SANTOS, A. C. & OGBORN, J. Sixth form students ability to engage in Computational modeling. Journal of Computer Assisted Learning. Vol.10, 182-200. Nº2, 1994.

KURTZ DOS SANTOS, A. C. Introdução à Modelagem Computacional na Educação. Rio Grande: FURG, 1995.

LARCHER, C. La physique et la chimie, sciences de modèles. Du monde réel aux connaissances scientifiques, en passant par la modélisation. In: Didactique appliquée de la physique-chimie. Éditions Nathan, Paris, 1996.

LEDBETTER, C. E. Qualitative comparison of students' constructions of science. In : Science education, 77(6):611-624, 1993.

LEVY, P. O que é o virtual?. Trad. de Paulo Neves. São Paulo: Editora 34, 1996.

LÜDKE, M. & ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em Educação: Abordagens qualitativas. São Paulo EPU, 1986.

LUNETTA, V. & HOFSTEIN, A. Simulation and laboratory practical activity. In: WOOLNOUGH, B. Practical Science - The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 125-137, 1991.

MATTASOGLIO NETO, O & VILLANI, A Análise de um curso de laboratório didático. Resumos VI EPEF, Florianópolis/SC, 1998, p. 158-160.

MEADOWS, D.L. et alii, Dynamics of Growth in a Finite World. Wright-Allen Press, inc, Cambridge, Massachusetts, 1974.

MELLAR, H., BLISS, J., BOOHAN, R., OGBORN, J., TOMPSETT, C. (Editors) Learning with Artificial Worlds: Computer Based Modelling in the Curriculum. The Falmer Press, London, 1994.

MILLAR, B. A means to an end: the role of process in science education. In WOOLNOUGH, B. Practical Science, - The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 43-52 1991.

MILLAR, B. Towards a role for experiment in the science teaching laboratory Studies in Science education, v 14, pg 109-118, 1987.

PARLETT, M. & HAMILTON, D. Avaliação Iluminativa: uma nova abordagem no estudo de programas inovadores. In : Avaliação de programas educacionais. GOLDBERG, M. A. A. & SOUZA, C. P., São Paulo: EPU, 1982, p.38-45.

PIAGET, J. A construção do real na criança. Rio de Janeiro: Zahar, 1963.

PIAGET, J. & INHELDER, B. Gênese das estruturas lógicas elementares. Rio de Janeiro : Zahar/INL, 1975.

PIAGET, J. & INHELDER, B. O desenvolvimento das quantidades físicas na criança. Rio de Janeiro : Zahar/INL, 1975.

PINHEIRO, T.F. A transposição dos modelos da Física para o ensino da Física. II Seminário de Pesquisa da Região Sul-ANPESUL. Ata Eletrônica. Curitiba. PR. 1999.

PINHO ALVES, J. Atividades Experimentais : Um instrumento de ensino. Texto mimeo. UFSC, Florianópolis, SC, 1987.

PINHO ALVES, J. Licenciatura em Física da UFSC : Análise à luz do referencial de Eisner e Vallance, UFSC, Florianópolis, SC, 1990.

PINHO ALVES, J. Atividades Experimentais: uma alternativa na concepção construtivista. Ata Eletrônica do VIII EPEF. Águas de Lindóia. 2002.

QUARTIEIRO, E. M. As Tecnologias de Informação e Comunicação e a Educação. 1996. Disponível on-line em:

http://www.inf.ufsc.br/sbc_ie/revista/nr4/063RE-quartieiro.htm

RAMALHO JR., F. e outros. Os Fundamentos da Física. Volume 3, São Paulo: Moderna, 1986.

SALTIEL, E. & MALGRANGE, J. C. Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. Eur. Phys., 1, 73-178, 1980.

SANTOS, J. I. Física, Volume 3, Rio de Janeiro: Ática, 1987.

SCHMIDT, I.P. & KAWAMURA, M.R. O papel do laboratório no ensino de Física. Atas do X SNEF. Londrina/Pr. 1993. P. 366-368

STAKE, R. E. Pesquisa qualitativa/naturalista: problemas epistemológicos. Educação e Seleção, 7: 17-29, jan-jun, 1983.

STAUFFER, R. C., Speculation and Experiment in the Background of Oersted's Discovery of Electromagnetism. Isis, Vol. 48, N^o 1, pp. 33-50, 1957.

Disponível on line (reprodução): [http://links.jstor.org/sici?sici=0021-1753\(195703\)48%3A1%3C33%3ASAEITB%3E2.0.CO%3B2-C](http://links.jstor.org/sici?sici=0021-1753(195703)48%3A1%3C33%3ASAEITB%3E2.0.CO%3B2-C)

TAMIR, P. & LUNETTA, V.N. Inquiry related tasks in high school science laboratory handbooks' Science Education, 65, 477-484, 1981.

WHITE, R. & GUNSTONE, R. Probing Understanding. London: Falmer Press, 1992.

WOOLNOUGH, B. Practical science a Holistic Activity. In: Practical Science - The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 178-181, 1991.

APÊNDICE I - O aplicativo computacional Interactive Physics

O aplicativo computacional Interactive Physics

Inicialmente será apresentado o aplicativo computacional educacional Interactive Physics versão 3.0 nas suas linhas gerais e, em seguida será apresentado suas principais ferramentas e, alguns exemplos de construção e simulação de experimentos básicos.

Configuração de Hardware

A configuração mínima recomendada para a instalação e funcionamento do aplicativo computacional educacional Interactive Physics versão 3.0, segundo o manual do usuário é:

- computador Pentium, clock 100 MHz ou similar, com processador matemático
- 8 MB de memória RAM
- 20 MB de espaço em disco
- plataforma de trabalho Windows 95

Descrição

O aplicativo computacional educacional Interactive Physics 3.0 é um software completo que simula um laboratório de movimentos no computador e que combina uma interface de usuário simples com uma poderosa engenharia que trabalha os fundamentos da Mecânica de Newton.

Com o aplicativo, podem-se realizar simulações criando-se objetos na tela e podem-se fazer estas simulações com uma animação realística. O número de simulações que se pode executar só está limitado pela imaginação. Podem-se criar simulações trabalhando na tela de computador com um mouse, da mesma maneira que é feito com um desenho ou executando um programa.

Fontes, cordas, abafadores, barras de comprimento, e uma variedade de formas de objetos físicos estão disponíveis. Clicando "run" anima-se a simulação. Uma poderosa engenharia de simulação dentro do aplicativo determina como objetos devem mover-se apresentando o resultado como se fosse um filme realista de simulação.

Nenhuma programação é requerida pelo usuário, aluno e/ou professor. As simulações são definidas pelo usuário que coloca os objetos no espaço de trabalho, assim como se obtivesse os objetos de uma estante em um laboratório real. Podem ser alteradas fricção e elasticidade. O valor da aceleração da gravidade pode ser mudado ou pode ser retirado. Podem ser controladas virtualmente quaisquer características físicas de um objeto.

Grandezas Físicas como velocidade, aceleração, momento e impulso, momento angular, energia cinética, e força de fricção, podem ser medidas enquanto uma simulação é executada. Podem-se exibir estas grandezas como números, gráficos, ou exibições vetoriais animadas.

O programa é projetado para professores e estudantes. Os professores podem usar o aplicativo imediatamente para demonstrar problemas que se apresentam como quadros estáticos em um livro. Podem-se criar enredos e imediatamente ver os resultados.

Os professores também *podem usar o computador como um laboratório*. Os estudantes podem fazer previsões, simulações de corridas, e imediatamente podem ver os resultados. Com o aplicativo, o laboratório está seguro, acessível, rápido, e poderoso.

Engenharia de Simulação

Projetada para lidar com velocidade e precisão, a engenharia de simulação do aplicativo computacional calcula o movimento de interação de corpos usando técnicas de análise numéricas avançadas.

A engenharia permite a construção de um sistema complexo e pode computar sua dinâmica debaixo de uma variedade de vínculos e forças. Além de vínculos impostos pelo usuário como fontes, talhas, ou articulações, o software tem a capacidade para simular interações do mundo real como colisões, gravidade, resistência do ar, e características eletrostáticas. Todos os aspectos de uma simulação, do controle de tempo de visualização passo a passo (fixo ou variável), como a técnica de integração podem ser configurados pelo usuário.

Scripts de Partida

O aplicativo computacional tem um sistema de roteiros de animação embutido que estende suas capacidades.

Editor Inteligente

O editor Inteligente é o coração da interface de usuário e mantém uma relação de conexões e vínculos entre objetos como eles são construídos. Ao desenvolver um mecanismo, o usuário puxa (cria) componentes na tela e indica onde e como as partes deveriam ser unidas.

O Editor Inteligente permite girar um mecanismo e o arrastar enquanto mantém a integridade fundamental dos componentes e as conexões entre eles. Os usuários podem posicionar objetos pelo paradigma padrão clicar-e-arrastar ou especificando precisamente as coordenadas nas caixas de diálogo.

Em todos os casos, o editor Inteligente assegura que nenhum vínculo será quebrado e nenhum corpo será deformado.

Um braço de robô composto de várias partes são mantidas unidas por pivôs articulados que usa o Editor Inteligente para posicionar com precisão. Clicando e arrastando a mão, o braço estira fora para a configuração desejada.

Posicionamento de Objetos baseado em Fórmulas

Pode-se especificar a posição de um vínculo baseado na geometria de um corpo objeto (por exemplo, altura e largura) de forma que sua posição relativa fique fixa até mesmo quando o corpo é redefinido ou rearranjado. Por exemplo, pode-se posicionar uma articulação de alfinete⁴⁰ a um vértice de um corpo poligonal. Pode-se redimensionar então ou redefinir o polígono e a articulação de alfinete permanecerá ligada ao vértice.

Pode-se também usar a geometria de um corpo para especificar a posição de outro. Por exemplo, usando esta característica pode-se projetar um encadeamento no qual a duração do vínculo de uma manivela está baseado

⁴⁰ Articulação de alfinete: Articulação muito pequena e precisa.

em uma dimensão do vínculo de acoplamento. Redefinindo o vínculo de acoplamento vai-se então automaticamente redefinir o vínculo da manivela baseado em sua especificação.

Suporte FPU

O aplicativo é projetado para tirar proveito da Unidade de Ponto Flutuante (coprocessador matemático), FPU em inglês, o mesmo está disponível no computador. Um FPU acelera enormemente os cálculos de computação e resulta em animação mais rápidas e mais perfeitas.

Editando Objetos Livres

Podem-se editar as propriedades dos objetos isoladamente e livremente, podendo modificar a geometria e posição de vários objetos rapidamente editando as propriedades desejadas diretamente na tela.

Simplesmente seleciona-se o objeto desejado, e o aplicativo o apresentará com uma lista de parâmetros (como largura, altura, e posição de um corpo) podendo-se editar com exatidão; digitando-se os valores precisos, e a modificação será efetuada imediatamente.

Inter-Aplicações

O aplicativo pode usar e se relacionar com outros programas do Windows, que comunique com outras aplicações durante uma simulação. Os usuários podem especificar modelos físicos de vida real, experimentos mecânicos e então podem os controlar externamente por outros programas.

Por exemplo, o Excel da Microsoft pode ser usado para modelar um sistema de controle externo. O aplicativo pode enviar dados para e recebe sinais de controle do outro programa enquanto uma simulação está em desenvolvimento.

Além disso, outras aplicações podem enviar novos comandos (usando programação em Visual Basic) para o aplicativo. Contanto que a aplicação

externa possua algumas características básicas de controle do Windows, pode enviar comandos para ou pode invocar um programa inteiro no aplicativo.

O aplicativo computacional educacional utilizado provê uma vasta ordem de funções matemáticas, podem-se implementar funções mais avançadas em outra aplicação e pode os unir para uma simulação do aplicativo.

Exportação de Dados

Dados de simulação numéricos podem ser exportados como dados de medida para um arquivo. O aplicativo também suporta filmes de QuickTime formatados em sistemas de MAC e Vídeo para Windows, (arquivo .AVI).

Dispositivos de Entrada e Saída

Pode-se introduzir dados e comandos em tempo real, incluindo dispositivos tais como controles deslizantes, botões, e campos de texto. Dispositivos de demonstração em tempo real incluem gráficos, exibições digitais, e exibições de barra.

Conjunto completo de botões de menu

Podem-se criar botões para executar comandos de menus do aplicativo, inclusive "run", "reset", e "quit". Os botões podem simplificar simulações em construção para o usuário iniciante; eles também podem ser usados para criar arquivos do aplicativo que conduz a outro arquivo com um clique de um botão.

Ferramenta de texto

Podem-se registrar textos nas simulações diretamente no espaço de trabalho com qualquer tipo de fonte, alterando-se o tamanho, ou o estilo de texto disponível no computador.

Gráficos Móveis

Podem-se colar quadros criados com um desenho ou pode-se puxar programando diretamente no espaço de trabalho, podendo os unir aos objetos. Por exemplo, pode-se criar um objeto circular e prender ao mesmo o desenho de uma bola de futebol.

Dimensionador de Forças

Através de uma equação, pode-se simular a gravidade planetária como também gravidade de Terra, forças eletrostáticas, resistência de ar (proporcional à velocidade ou quadrado da velocidade), ou seu próprio tipo de força. Por exemplo, podem-se criar campos magnéticos, ventos, e canhões de elétrons.

Características Gráficas

Podem-se mostrar e esconder objetos, preencher objetos com padrões e cores, exibir a carga eletrostática dos objetos (+ ou -), escolher as densidades do corpo de um objeto, exibir os nomes de objeto, e vetores de exibição.

Múltiplos Referenciais

Podem-se observar as simulações de múltiplos referenciais (pontos de vista), como qualquer corpo da simulação ou referencial externo.

Controle Completo de Unidades

Pode-se escolher o padrão métrico de unidades do Sistema Internacional (SI): como quilogramas, metros, segundos e radianos; unidades inglesas padrões como jardas, pés, polegadas, graus, e libras; ou outras unidades (por exemplo, ano-luz).

Relação Completa de Fórmulas

O aplicativo têm um sistema de relação de fórmulas que cria expressões matemáticas e aritméticas (inclusive declarações condicionais), semelhante a relação de fórmulas usado na Microsoft Excel e Lotus 1-2-3. Qualquer valor pode ter uma fórmula no lugar de um número. Ao simular um foguete, pode-se escrever uma fórmula para sua massa de forma que esta diminui com o gasto de combustível. Usando funções trigonométricas, pode-se escrever uma fórmula que simula a força gerada por um atenuador que induz uma oscilação.

Menu de Exibição de Arquivos

O modo de exibição proporciona uma barra de menu limitada, e nenhuma barra de ferramenta e deixa maior espaço para exibir a simulação. Pode-se trocar entre modo de exibição e o modo padrão de edição selecionando um comando de menu. Os arquivos de exibição são úteis para usuários que são pouco familiarizados com o aplicativo.

Além disso, o aplicativo permite gravar simulações como "arquivos somente de exibição " que impedem o usuário de mudar certos parâmetros de simulação. Os professores podem usar esta característica para criar simulações que enfocam a atenção dos estudantes em problemas específicos.

Dimensionador de Localização

Pode-se especificar a localização de todos os objetos ou limitar a especificação de localização a objetos selecionados. Os objetos individuais podem deixar rastros de sua forma, centro de massa, ou exibições de vetor.

Exibição de Vetores

O aplicativo é provido de uma relação completa de modos de exibição de vetores para mostrar velocidade, aceleração, e força. Podem ser exibidos vetores para forças eletrostáticas, para forças planetárias, e em pontos de múltiplo contato quando dois objetos colidem. Eles podem ser exibidos em uma variedade de cores e formatos.

Controle de Tempo

Pode-se calcular e registrar simulações complicadas ou demoradas durante a noite e simular o movimento rapidamente. Podem-se salvar simulações inteiras para o disco. Com o controle de pausa pode-se parar ou simular pausas automaticamente. Por exemplo, pode-se editar uma simulação para pausar quando decorrerem dois segundos entrando na fórmula seguinte, isto é, quando cronômetro > 2. Também se podem ter simulações em "looping" e que possam ser reajustadas.

Controle de Aplicação

Podem-se aplicar forças e vínculos em qualquer momento. Por exemplo, pode-se aplicar uma força constante em um objeto durante um segundo, ou pode-se aplicar uma força quando a velocidade de um objeto é maior que 10.

Campo de Trabalho e Exemplos Básicos

Como salientamos anteriormente, não faremos uma descrição detalhada dos comandos e potencialidades do aplicativo, no entanto para se ter uma idéia de seu funcionamento será descrito sucintamente a área de trabalho do aplicativo em suas linhas gerais e alguns exemplos básicos de edição de objetos.

Iniciando o Aplicativo

Com um duplo clique do mouse no ícone do aplicativo inicia-se o programa, abrindo uma nova janela no windows, ainda sem nome, "untitled". A tela se parecerá com a Figura 1.

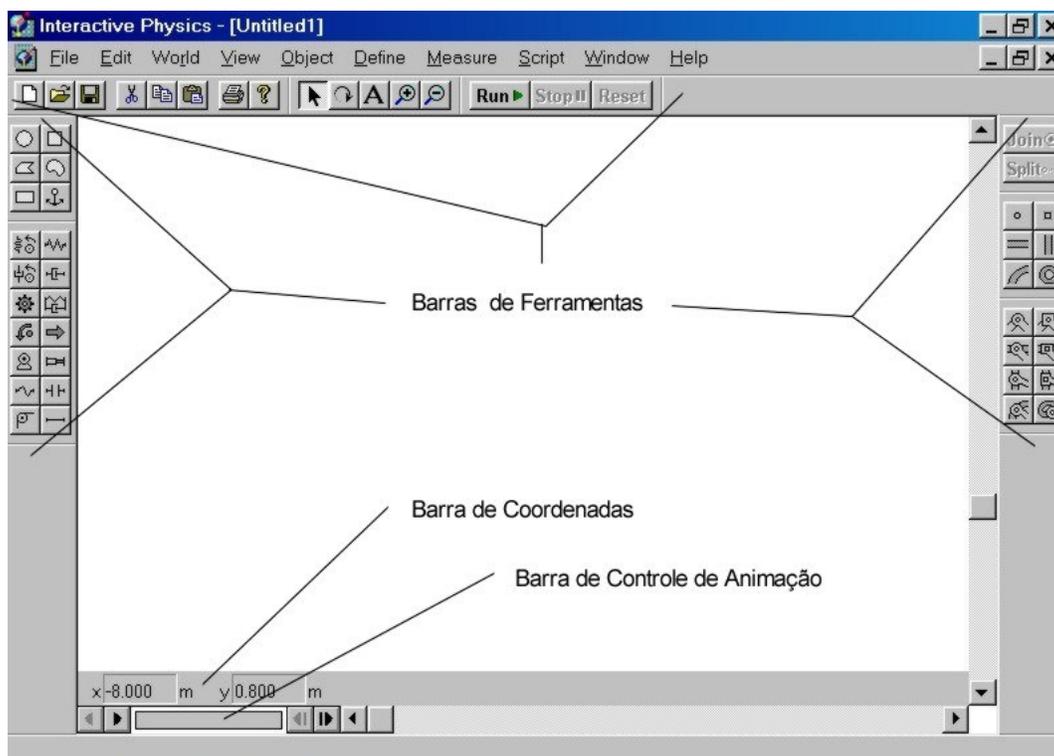


Figura 1: Janela principal do aplicativo

O novo arquivo de simulação "untitled" aparece em sua própria janela. Pode-se ver a barra de coordenadas e barra de controles de animação ao fundo da janela.

A barra de ferramentas⁴¹ contém os comandos que poderão ser usados para criar simulações. Nela, existem ferramentas para criar corpos, fontes, cordas, forças, e muitos outros objetos. A barra de ferramentas também contém botões para dar partida as simulações, "run" e volta ao ponto inicial, "reset".

⁴¹ A configuração da barra de ferramentas difere entre o Windows e versões de MAC do aplicativo, no entanto só trabalhamos com a versão Windows.

A barra de coordenadas exibe informações úteis como, a posição de cursor do mouse, configurações do objeto e dimensões do objeto. O modo de exibição é sensível ao contexto e muda rapidamente para atender as necessidades do usuário enquanto está sendo usado o aplicativo.

Podem-se também editar parâmetros dos objetos entrando com informações diretamente na barra de coordenadas.

Os controles de movimento em forma de cursor de rolamento fornecem uma maior flexibilidade para movimentar e ver simulações. Pode-se usar o cursor de rolamento para controlar simulações, movendo-se as simulações para trás, ou selecionando um intervalo de tempo específico em uma simulação.

Barras de Ferramentas

O aplicativo possui uma relação de ferramentas que fornecem facilmente acesso pelo uso nas barras de ferramentas e lhe permitem construir um modelo de simulação selecionando ferramentas para puxar os componentes como se estivesse usando um programa de desenho.

Ferramentas Padrões do Windows

A barra de ferramentas padrão do windows é facilmente identificada com seus ícones identificados na Figura 2.



Figura 2: Barra de ferramentas padrão

Ferramentas de Edição

A barra de ferramentas de edição é semelhante as ferramentas de aplicativos gráficos ou de desenho com seus ícones identificados na Figura 3.



Figura 3: Barra de ferramentas de edição

Ferramentas de Controle de Animação

A barra de ferramentas de controle de animação possui três botões que controlam a animação, o que dá início a simulação, "run", o que faz a simulação parar, "stop", e o botão que faz a simulação retornar ao seu início, "reset". A Figura 4 mostra os mesmos.



Figura 4: Barra de ferramentas de controle de animação

Observa-se que estes controles podem ser inseridos no próprio campo de trabalho da simulação.

Ferramentas de Criação

A barra de ferramentas de criação, Figura 5, fornece elementos para a criação de corpos ou elementos físicos de trabalho. A construção de corpos circulares, quadrados, poligonais, curvos, retangulares e fixação, âncora, dos corpos ao campo de trabalho (por pré-configuração, os corpos estão sob ação da gravidade); a junção/separação de nós de encaixe dos objetos; e a criação de nós e barras deslizantes.

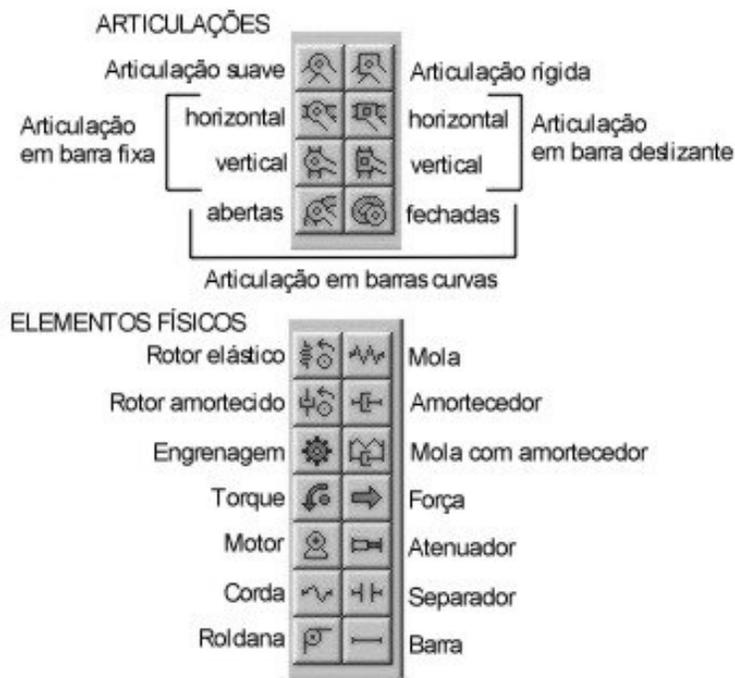


Figura 5: Barra de ferramentas de criação de elementos físicos

Ferramentas de Articulações e de Elementos Físicos

A barra de ferramentas de articulações cria, como o próprio nome sugere, articulações móveis ou fixas, em pontos de junção e/ou em barras. Já a barra de ferramentas de elementos físicos cria, os mais variados tipos de elementos como: molas, motores, engrenagens, amortecedores, roldanas, cordas, configuração de forças e torques externos. Os ícones podem ser observados na Figura 6.



Figura 6: Barra de ferramentas de articulações e elementos físicos

Deve-se ressaltar que, todos os elementos citados, podem ser configurados pelo usuário do aplicativo.

Barra de Coordenadas

A barra de coordenadas (Figura 7), informa as coordenadas lineares em que o objeto se encontra, com as unidades pré-estabelecidas e, também as dimensões e características Físicas do corpo que se criará, por exemplo: no caso de um círculo o raio e a direção de rotação do mesmo.

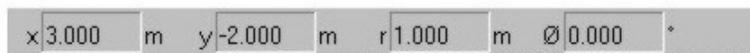


Figura 7: Barra de coordenadas

Barra de Controle de Animação

A barra de controle de animação (Figura 8), no modo de demonstração funciona como um indicativo do tempo de simulação e, pode fornecer ao usuário a disponibilidade de observar a animação lentamente, quadro a quadro, retrocesso, avanço, etc.



Figura 8: Barra de controle de animação

Passos para Criar uma Nova Simulação

Estes passos fornecem uma idéia de como usar o aplicativo para criar e animar uma simulação. Em função do objeto escolhido, o formato do mesmo pode diferir dependendo do tipo de simulação que se está montando, no entanto os passos básicos para criar e animar uma simulação terão sempre o mesmo procedimento:

1. Escolhe-se "New" do menu de arquivo para abrir um documento novo.

2. Puxa-se (desenha-se) e posicionam-se os corpos. Usa-se a barra de ferramentas para puxar objetos da mesma maneira que se realiza um desenho ou executa um programa.
3. Dão-se dois "clicks", com o mouse, no objeto para exibir e/ou editar suas especificações iniciais (por exemplo, velocidade, coeficientes de fricção, ou elasticidade).
4. Escolhem-se nos itens do menu em linha atribuindo as medições a serem realizadas e gráficos que exibem a informação a ser analisada durante a simulação.
5. Dá-se um clique no botão de partida na barra de ferramentas.
6. Escolhe-se "save", no menu arquivo, se desejar salvar a simulação em um arquivo.

Montando uma Simulação Simples

Para se ter uma idéia de construção de uma simulação, apresentamos um exemplo: se usará os comandos da barra de ferramentas para criar uma simulação simples. Seleccionamos a ferramenta objetos circulares e, desenhamos um círculo que poderá representar um projétil, fornecendo ao mesmo uma velocidade inicial; então, se verá o movimento de projétil quando ocorrer a simulação.

Inicialmente devemos criar um novo documento, passo 1., descrito anteriormente.

Agora, poderá ser criado um círculo para representar um corpo.

Criando um Círculo

Observe a Figura 9

1. Dá-se um clique na ferramenta de círculo.
2. Posiciona-se o ponteiro do mouse em qualquer ponto de início na área em branco da tela. O ponteiro muda de uma seta para um sinal de "+". Isto significa que se está pronto para criar um objeto.

- Dá-se um clique e se segura o botão do mouse arrastando o mesmo até o círculo ficar do tamanho que se deseja. Ao largar o botão do mouse, uma linha aparece dentro do círculo. Durante uma sucessão animada, esta linha indica a orientação de rotação do círculo.

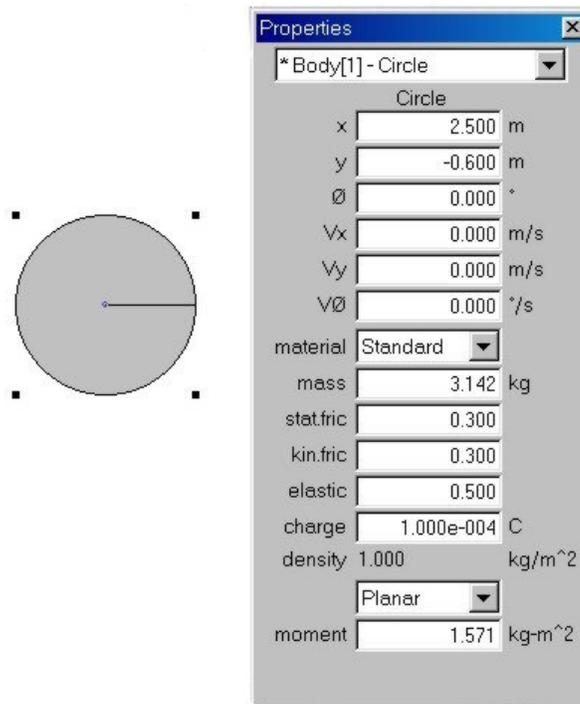


Figura 9: Criação de um círculo e estabelecimento de suas propriedades

Após a criação do círculo (existem outras maneiras de se criar o mesmo), podem-se configurar quaisquer características físicas e geométricas do mesmo, tais como: velocidade inicial, massa, atrito, elasticidade, carga elétrica, tipo de material, momento de inércia, etc., bastando dar um duplo clique no desenho do corpo, onde apareceria um campo onde estes valores podem ser digitados (Figura 9).

Especificando uma Velocidade Inicial

Para especificar a velocidade inicial no centro do círculo:

- Dá-se um clique no círculo para selecionar o mesmo.

Quatro pontos quadrados aparecem em torno do círculo (Figura 10).

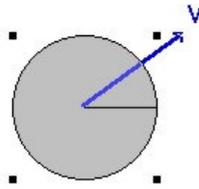


Figura 10: Especificação do vetor velocidade em um círculo

2. Escolhem-se Preferências...(Preferences...) da barra de menus.

Aparecerá um quadro de diálogo. Pode-se usar este quadro de diálogo para modificar as preferências e os salvar como novos documentos.

3. Deve-se confirmar que a opção "Allow velocity vector dragging" (Permite arrastar vetor velocidade) está marcada, e clica-se "OK".

Um novo ponto redondo aparece no centro do círculo.

4. Posiciona-se o ponteiro no ponto de centro no círculo e arrasta-se para fora do mesmo para especificar a velocidade inicial do projétil (Figura 10).

5. Leva-se o botão do mouse à velocidade inicial desejada.

A seta representa a velocidade inicial do centro de massa do projétil.

6. Arrasta-se a ponta da seta para ajustar o vetor de velocidade.

Animando a Simulação

Para animar a simulação:

Dá-se um clique em "run" na barra de ferramentas.

A simulação é animada. O círculo move-se com a trajetória de um projétil típico, porque a gravidade na falta de especificação é por "default" a gravidade da Terra ($9,8 \text{ m/s}^2$) em um documento novo,

1. Dá-se um clique no botão "stop" na barra de ferramentas para parar a simulação.

Alternativamente, pode-se dar um duplo clique no fundo para parar a simulação.

2. Clica-se "reset" na barra de ferramentas para reajustar a simulação para condições iniciais.
3. Volta-se ao passo 3 depois de "especificar velocidade" inicial e pode-se observar o que ocorre na simulação com velocidades diferentes.

Medindo-se Propriedades Físicas em uma Simulação

O aplicativo permite medir muitas propriedades físicas dos objetos, tais como: velocidade, aceleração, e energia usando-se quadros e vetores.

Os quadros e vetores provêm representações visuais de quantidades que se deseja medir.

Os quadros podem exibir informação na forma de:

- numeral (digital),
- gráficos, ou
- níveis indicadores (gráfico de barra).

Os vetores representam as propriedades de velocidade, aceleração, e mostram-se como setas visuais. A direção da seta indica a direção do vetor, e a tamanho da seta corresponde à magnitude do vetor.

Esta característica do aplicativo é de fundamental importância para mostrar dinamicamente a variação das grandezas físicas em uma simulação de um fenômeno, pois na exposição tradicional no quadro negro só é possível mostrar-se uma situação estática.

Muitas outras características e funções do aplicativo são descritas pormenorizadamente no Manual do Usuário.

APÊNDICE II - Roteiros

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
(IDENTIFICAÇÃO DA ESCOLA)

Nome: _____ Nº _____ Turma _____

ELETROMAGNETISMO - ATIVIDADE I (3^{as} Séries do Ensino Médio)

1) Agulha magnética e bússola.

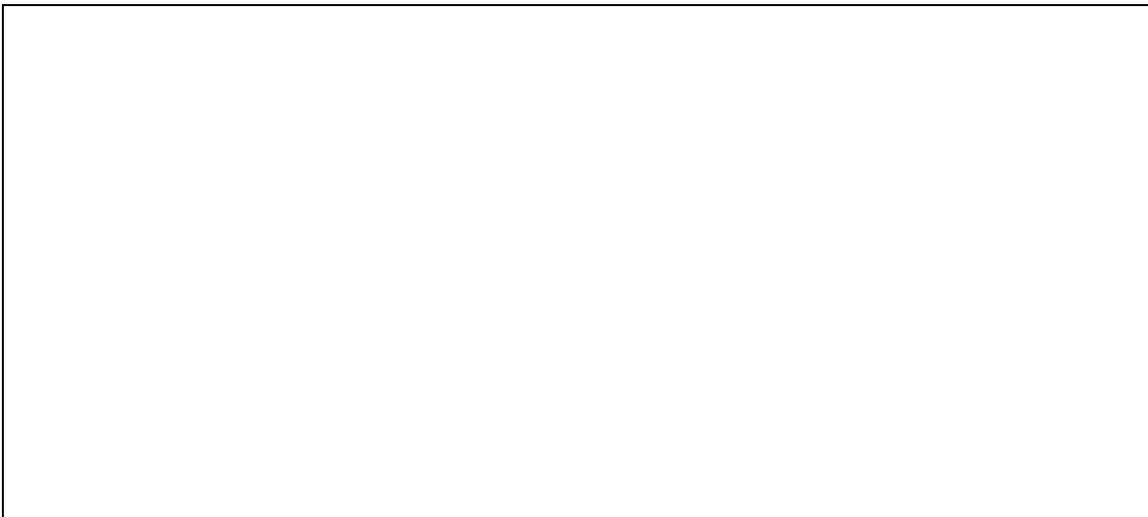
Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade realizada.



Como ficam as duas agulhas em relação a agulha da bússola? Elas apontam para onde? _____

2) A experiência de Oersted. a) Circuito aberto b) circuito fechado.

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

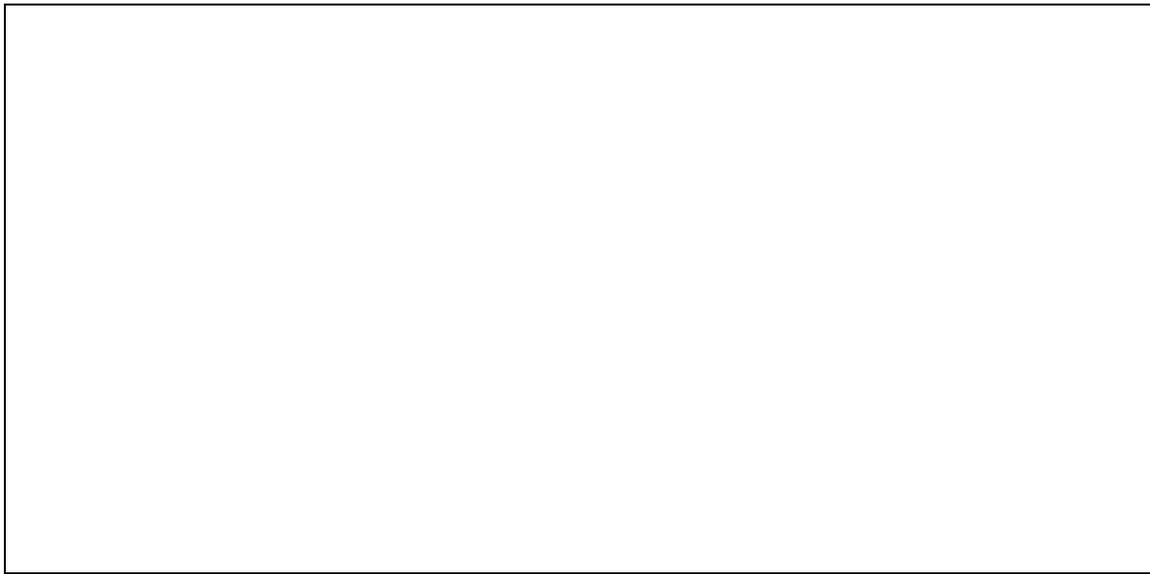


Qual a relação entre eletricidade e magnetismo? Qual é “forma” do campo em torno do fio? _____

3) Campo magnético.

3.1) Campo magnético de um fio retilíneo:

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.



O que são linhas de campo magnético, como elas são neste caso? _____

Qualitativamente, quais as grandezas que influenciam o campo magnético criado?

O campo magnético é escalar ou vetorial? _____

Como podemos saber o sentido do campo? _____

Descreva a regra para obter o sentido do campo magnético _____

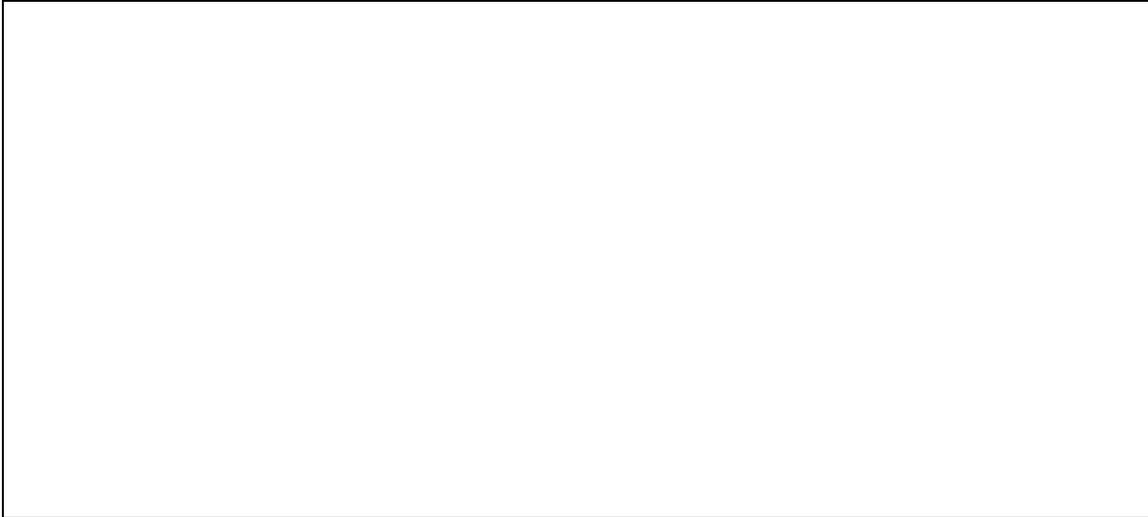
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
(IDENTIFICAÇÃO DA ESCOLA)

Nome: _____ Nº _____ Turma _____

ELETROMAGNETISMO- ATIVIDADE II (3^aS Séries do Ensino Médio)

1) Campo magnético de um ímã em "U".

Desenhe ou esquematize, indicando as linhas de indução do campo magnético para este ímã.

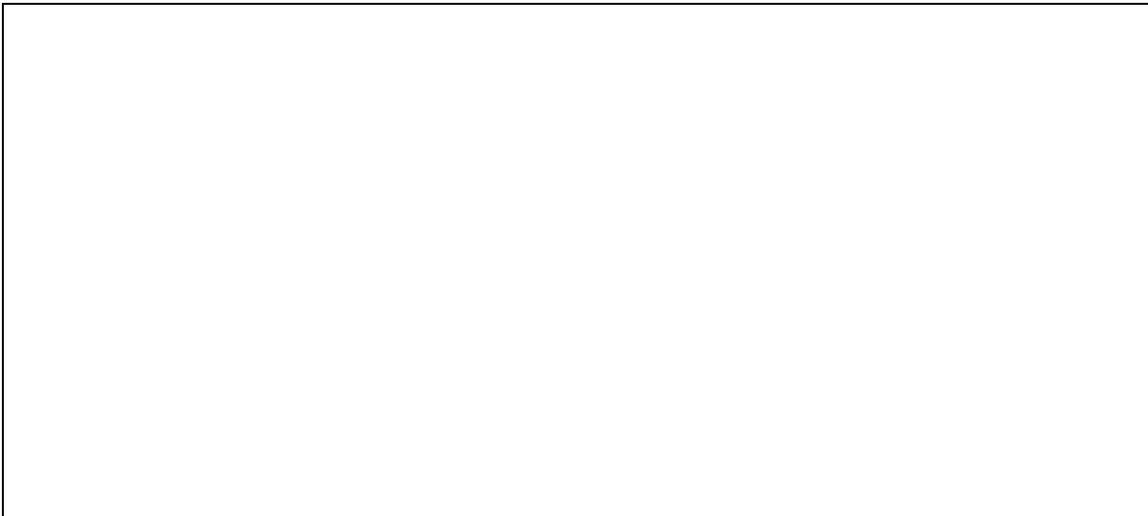


Como são as linhas de indução entre os pólos do ímã analisado? _____

Como é chamado este tipo de campo _____

2) Força magnética em um condutor. A) influência da corrente

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.



Descreva a atividade experimental realizada: _____

O que acontece com o fio, quando passa uma corrente elétrica? (aparece alguma força?) _____

O que acontece quando invertemos o sentido da corrente? _____

Logo, do que depende a força no fio condutor? _____

3) Força magnética em um condutor. B) influência do campo magnético

Como está disposto o fio dentro do campo magnético? _____

O que acontece quando invertemos o sentido do campo? _____

Logo, do que depende a força no fio condutor? _____

3) Aplicações do fenômeno estudado

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

Quais as aplicações do fenômeno? _____

Como seria o comportamento de uma só carga dentro de um campo uniforme?

Discussão!

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
(IDENTIFICAÇÃO DA ESCOLA)

Nome: _____ Nº _____ Turma _____

ELETROMAGNETISMO- ATIVIDADE III (3^a Séries do Ensino Médio)

1) Indução Eletromagnética. Fio movimentando-se em um campo eletromagnético
Desenhe ou esquematize, indicando as linhas de indução do campo magnético para este ímã e, como o fio se movimenta neste campo.

O que acontece quando movimentamos o fio dentro do campo magnético? Como se comporta a diferença de potencial entre os extremos do fio e, neste caso como é chamada? _____

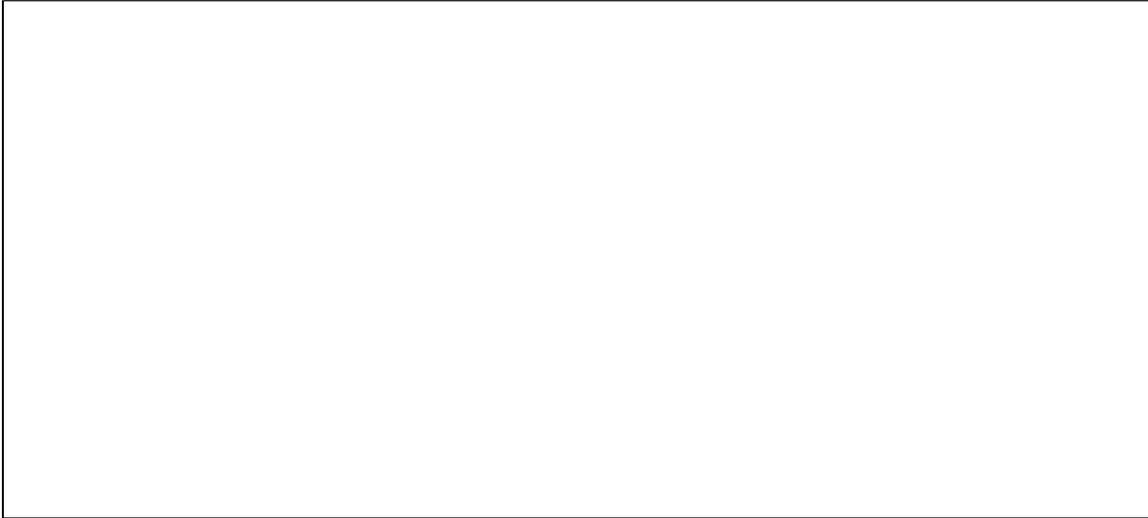
Como chamamos a corrente que aparece no fio? _____

O que acontece quando paramos o movimento? _____

O que acontece com a corrente induzida, quando invertemos o movimento do fio? _____

2) Indução Eletromagnética. Imã se movimentado dentro de um solenóide

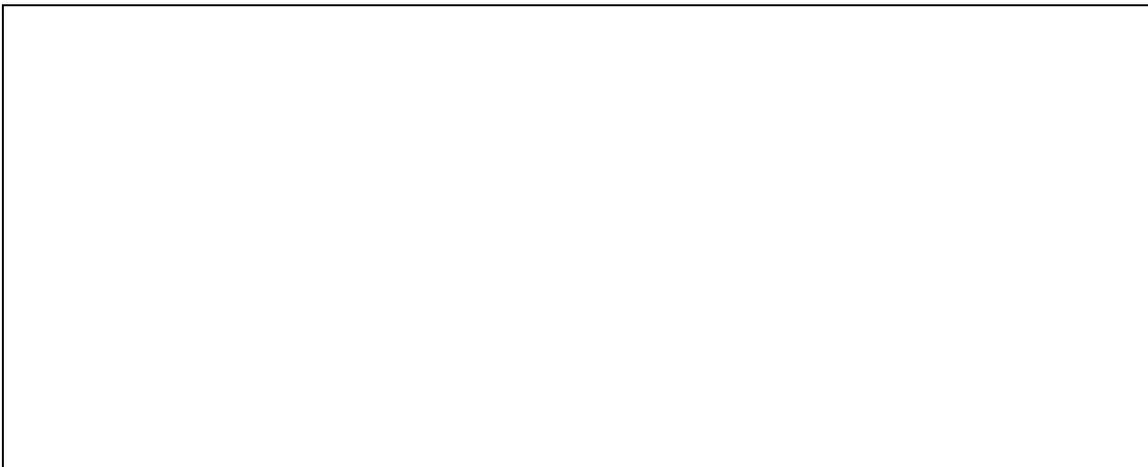
Desenhe ou esquematize, indicando as linhas de indução do campo magnético para este imã e, como este imã se movimenta no solenóide.



O que acontece com a corrente induzida, quando invertemos o movimento do imã? _____

1) Indução Eletromagnética. Solenóides (bobinas)

Desenhe ou esquematize, indicando as linhas de indução do campo magnético para a bobina.



Há movimento entre as bobinas? _____

O que fazemos para aparecer a corrente induzida? _____

Nos três casos anteriores, o que está sendo variado? _____

APÊNDICE III - Avaliação

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
IDENTIFICAÇÃO DA ESCOLA

Nome: _____ Nº _____ Turma _____

ELETROMAGNETISMO (3^aS Séries do Ensino Médio)

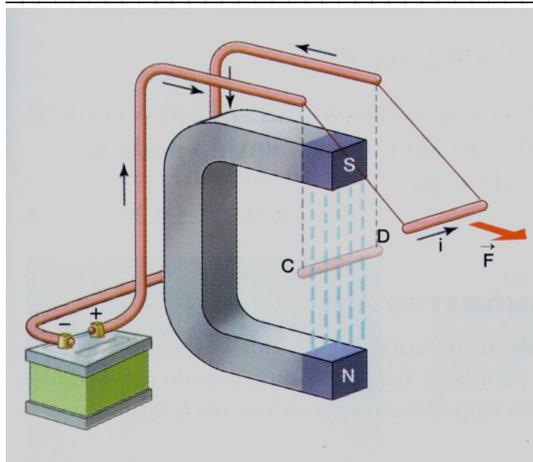
1) Discutir a experiência de Oersted, mostrando o comportamento da agulha com o circuito aberto e fechado. Qual a relação entre eletricidade e magnetismo? Qual é "forma" do campo em torno do fio?

Desenhe ou esquematize, indicando cada componente da atividade experimental realizada.

2) Como são linhas de campo magnético em torno de um fio reto em que passe uma corrente elétrica no mesmo? Como se determina o sentido deste campo? (pode desenhar atrás da folha)

3) Como é o campo magnético de uma espira circular (caso específico no centro)? (pode desenhar atrás da folha)

4) Como é o campo magnético de um solenóide (caso específico dentro)? (pode desenhar atrás da folha)



5) Analise a figura ao lado. Como são as linhas de indução neste experimento?

O que acontece com o fio, quando atravessado por uma corrente elétrica? Como podemos saber o sentido da força?

O que acontece quando invertemos a corrente?

6) Analise a figura ao lado: O que acontece quando movimentamos o fio dentro do campo magnético? Como se comporta a diferença de potencial entre os extremos do fio e, neste caso como é chamada? _____

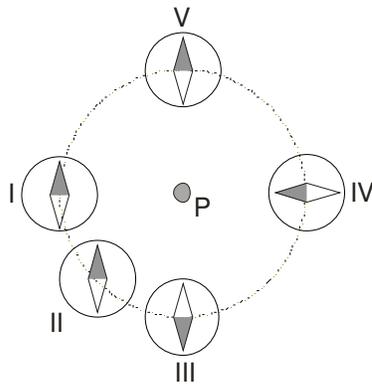
Como chamamos a corrente que aparece no fio? _____

O que acontece quando paramos o movimento? _____

O que acontece com a corrente induzida, quando invertemos o movimento do fio? _____

Como podemos determinar o sentido da corrente induzida na espira? Explique este fenômeno, descrevendo o que está acontecendo nas figuras, A, B e C.

7) Um estudante coloca uma bússola (agulha magnética) em cinco posições diferentes a mesma distância radial de um fio retilíneo e muito longo, percorrido por uma corrente elétrica constante e colocado perpendicularmente ao plano da página no ponto P. Desprezando os efeitos do campo magnético terrestre em relação ao produzido por essa corrente, qual a posição que indica corretamente o alinhamento da bússola?



A ⇒ I

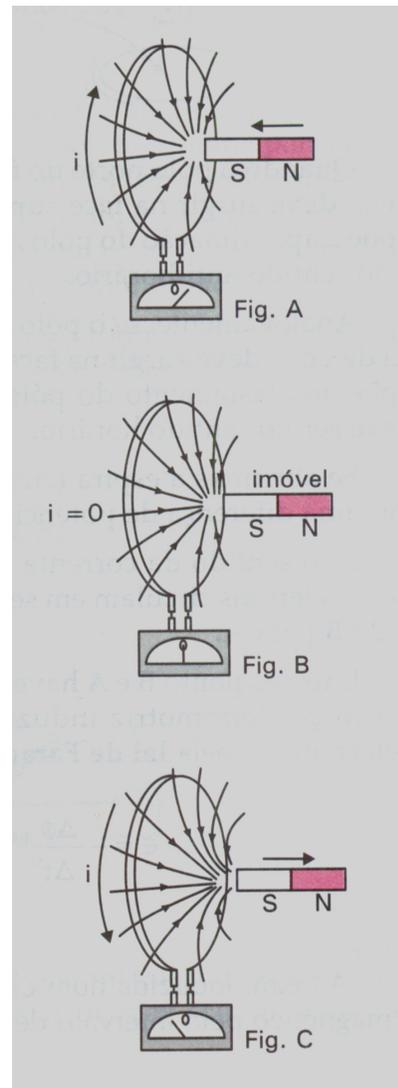
B ⇒ II

C ⇒ II

D ⇒ IV

E ⇒ V

Justifique sua resposta: _____



Obrigado por sua participação!
 Prof. Alfredo Müllen da Paz
 Florianópolis, dezembro de 2005