

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
CAMPUS DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Moacir Pereira de Souza Filho

**O ERRO EM SALA DE AULA: SUBSÍDIOS PARA O
ENSINO DO ELETROMAGNETISMO**

Bauru
2009

Moacir Pereira de Souza Filho

**O ERRO EM SALA DE AULA: SUBSÍDIOS PARA O ENSINO DO
ELETROMAGNETISMO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da área de concentração em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências da UNESP/Bauru, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Educação para Ciências, sob a orientação do Prof. Dr. João José Caluzi.

Bauru

2009

Souza Filho, Moacir Pereira de.

O erro em sala de aula: subsídios para o ensino do eletromagnetismo / Moacir Pereira de Souza Filho, 2009.

230 f. : il.

Orientador: João José Caluzi

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2009

1. Gaston Bachelard. 2. História da Ciência. 3. Ensino de Física. 4. Eletromagnetismo I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

Moacir Pereira de Souza Filho

**O ERRO EM SALA DE AULA: SUBSÍDIOS PARA O ENSINO DO
ELETROMAGNETISMO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, da Faculdade de Ciências, da Universidade Estadual Paulista, campus de Bauru, para a obtenção do título de Doutor em Educação para Ciências.

BANCA EXAMINADORA

Presidente e orientador: Prof. Dr. João José Caluzi (Unesp/Bauru-SP)

2º examinador: Prof^a. Dr^a. Jesuína Lopes de Almeida Pacca (USP/São Paulo-SP)

3º examinador: Prof. Dr. André Koch Torres de Assis (Unicamp/Campinas-SP)

4º examinador: Prof. Dr. André Ferrer Pinto Martins (UFRN/Natal-RN)

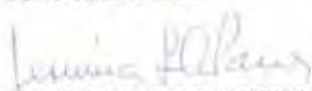
5º examinador: Prof. Dr. Washington Luiz Pacheco de Carvalho (Unesp/Ilha Solteira-SP)

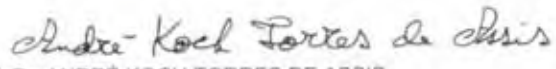
Bauru, 25 de maio de 2009.

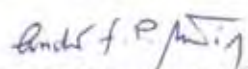
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DO(A) FACULDADE DE CIÊNCIAS DE BAURU.

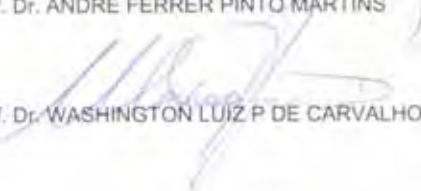
Aos 25 dias do mês de maio do ano de 2009, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Pós-Graduação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOAO JOSE CALUZI do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências de Bauru, Prof. Dr. JESUINA LOPES DE ALMEIDA PACCA do(a) Departamento de Física Aplicada / Universidade de São Paulo, Prof. Dr. ANDRÉ KOCH TORRES DE ASSIS do(a) Departamento de Cronologia e Raios Cômicos / Universidade Estadual de Campinas, Prof. Dr. ANDRÉ FERRER PINTO MARTINS do(a) Departamento de Educação / Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Prof. Dr. WASHINGTON LUIZ P DE CARVALHO do(a) Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de MOACIR PEREIRA DE SOUZA FILHO, intitulado "O Erro em Sala de Aula: Subsídios para o Ensino do Eletromagnetismo". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. JOAO JOSE CALUZI


Prof. Dr. JESUINA LOPES DE ALMEIDA PACCA


Prof. Dr. ANDRÉ KOCH TORRES DE ASSIS


Prof. Dr. ANDRÉ FERRER PINTO MARTINS


Prof. Dr. WASHINGTON LUIZ P DE CARVALHO

À memória dos meus pais

Moacyr e Idalina.

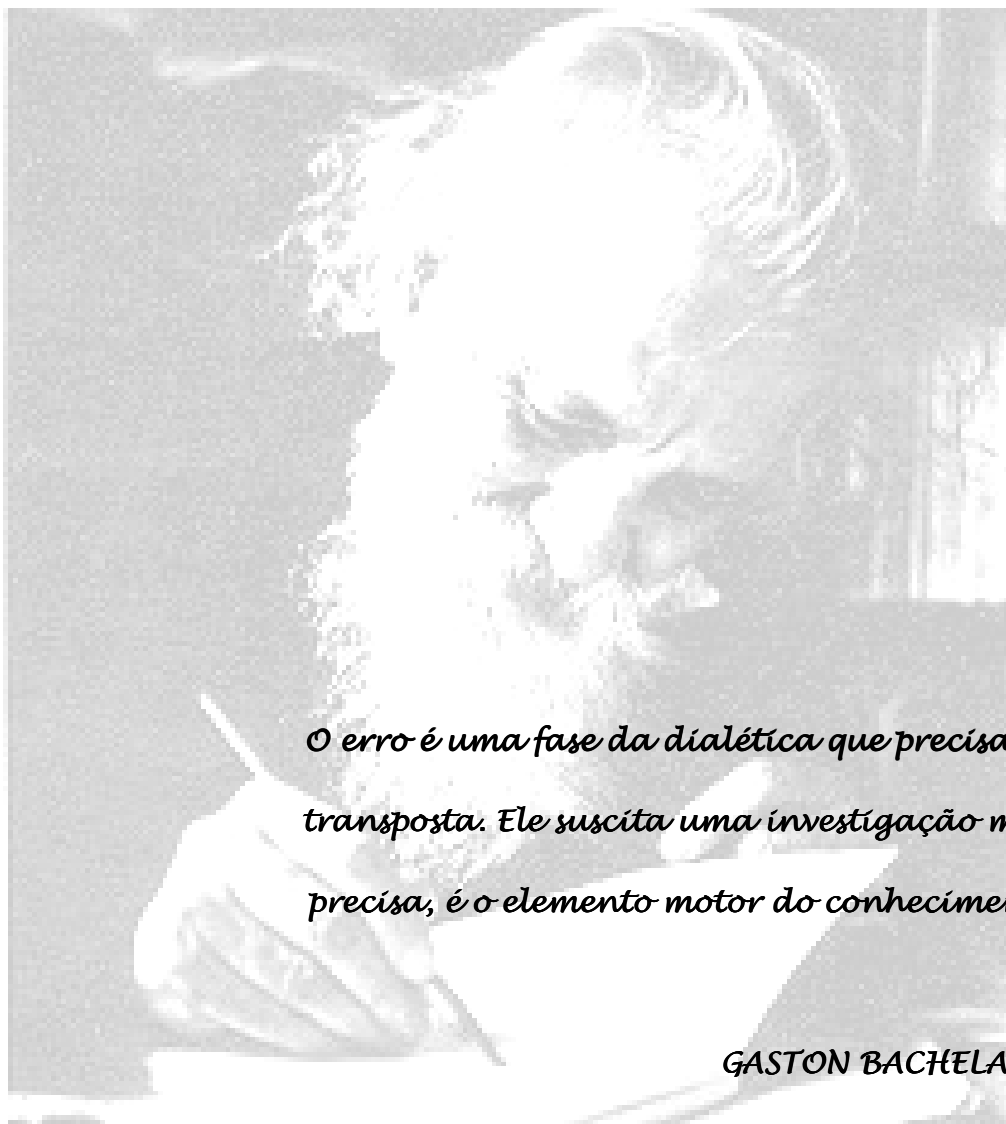
À minha esposa Heloísa e

filha Milena.

*À minha irmã Maria do Carmo
e aos sobrinhos Zowie e Lennox.*

AGRADECIMENTOS

- Ao amigo e orientador, *Prof. Dr. João José Caluzi*, pela confiança e autonomia concedida ao projeto de pesquisa e pelas intervenções constantes nos momentos críticos.
- Aos professores e examinadores, pela leitura minuciosa e pelas valiosas sugestões apresentadas ao trabalho de pesquisa: *Prof^a. Dr^a. Jesuína Lopes de Almeida Pacca* (qualificação e defesa), *Prof. Dr. André Koch Torres de Assis* (qualificação e defesa), *Prof. Dr. André Ferrer Pinto Martins* (defesa) e *Prof. Dr. Washington Luiz Pacheco de Carvalho* (defesa).
- Ao *Prof. Dr. Carlos Alberto Fonzar Pintão* pela amizade e parceria em alguns artigos.
- A minha esposa *Heloísa*, pelo apoio e incentivo fundamentais a minha trajetória e a conclusão deste trabalho. À *Milena*, minha filha, que soube compreender os momentos em que estive ausente.
- Ao grande amigo *Serginho* (*Prof. Ms. Sérgio Luiz Baggato Boss*) pelas sugestões ao projeto de pesquisa; pela colaboração nos trabalhos científicos e, pela amizade sincera.
- Ao amigo *João Paulo* (*Prof. Dr. João Paulo Martins de Castro Chaib*), membro suplente da banca de defesa, pelas sugestões apresentadas ao trabalho.
- Aos colegas do *Programa de Pós-Graduação* e do *Laboratório de Física* pela amizade e companheirismo. Aos professores do *Departamento de Física* da *Unesp/Bauru* pelo apoio e incentivo.
- Ao grande amigo *Toninho*, que não “mede” esforços para ajudar.
- A *todos os alunos* integrantes do curso “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*” que participaram das atividades com amor e dedicação e, com os quais, eu muito aprendi.
- Gostaria de agradecer nominalmente a todos aqueles que acreditaram e confiaram no meu trabalho, porém o espaço é limitado. Portanto, a todos que me ajudaram direta ou indiretamente, meu **MUITO OBRIGADO!**



O erro é uma fase da dialética que precisa ser transposta. Ele suscita uma investigação mais precisa, é o elemento motor do conhecimento.

GASTON BACHELARD.

Ensaio sobre o conhecimento aproximado.

SOUZA FILHO, M. P. de **O erro em sala de aula:** subsídios para o ensino do eletromagnetismo. 2009. 230f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência), Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2009.

RESUMO

O objetivo central deste trabalho é a Tese de que o *processo dialético* entre o *erro* e a *verdade*, entre a *razão* e a *experiência*, propicia a formação de novas zonas do perfil epistemológico e, conseqüentemente, contribui para a aquisição de um conhecimento mais sistematizado e mais elaborado. O estudo da epistemologia de Bachelard por meio de suas características: *histórica*, *descontinuista*, *dialética* e *racionalista*, e também, pelas noções de *obstáculos epistemológicos* e *perfil epistemológico*, fornece subsídios que nos ajudam a compreender a importância do *erro* e da *verdade* no desenvolvimento e na aquisição de conceitos. Trata-se de uma pesquisa teórica e empírica. Primeiramente, por meio de uma recorrência histórica regressamos à história do *eletromagnetismo*. As concepções deste período se enquadram em duas regiões do perfil: idéia de *ação a distância* e noção da *teoria de campo*. Pudemos verificar a importância do *erro* e da *verdade* para a formação de uma nova zona do perfil. Em seguida, no campo pedagógico, fizemos uma pesquisa de campo. Elaboramos um curso de extensão universitária denominado “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*” e, aplicamos aos alunos do curso de *licenciatura em Física da UNESP/Bauru* durante o ano letivo de 2006. Os encontros ocorriam quinzenalmente, nos quais, estudávamos alguns episódios históricos relevantes da temática proposta. A metodologia de análise foi dividida em três etapas do processo de psicanálise propostas por Santos (1998): Na *conscientização*, aplicamos um questionário logo no primeiro dia de aula. A *desestruturação* consistiu na gravação dos encontros para análises (gravação, transcrição e interpretação dos dados). Esta etapa foi dividida em dois módulos que ocorreram no primeiro e segundo semestres letivos. No primeiro módulo, estudamos o período até a descoberta do eletromagnetismo e, no segundo módulo, suas interpretações posteriores. Os dados foram apresentados por meio de trechos relevantes para análises. Na *familiarização*, no final dos módulos, os alunos responderam a novos questionários sínteses. Durante a pesquisa, procuramos estabelecer uma relação das idéias com as diferentes zonas do perfil epistemológico. Finalmente, fizemos algumas entrevistas com alunos aproximadamente depois de transcorridos dois anos de encerramento do curso. Com base nisso, apresentamos os resultados e as discussões finais.

Palavras-chave: Gaston Bachelard, História da Ciência, Ensino de Física, Eletromagnetismo.

SOUZA FILHO, M. P. de **Error in the classroom: subsidies to the electromagnetism's learning process.** 2009. 230p. Thesis (Doctor's degree in Education for Science), Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2009.

ABSTRACT

The central goal of this work is the Thesis that the *dialectic process* between *error* and *truth* and, between *reason* and *experience*, propitiates the formation of epistemological profiles' new zones, and consequently, it contributes for the acquisition of a better knowledge. The study of the Bachelard's epistemology through its *historical, discontinuous, dialectical* and *rationalist* characteristics and, through the notions of *epistemological obstacles* and *profiles* supplies subsidies that help us to understand the importance of the *error* and of the *truth* in the development and acquisition of news concepts. This is a theoretical and empirical research. First, through a *historical recurrence* we return to the history of the electromagnetism. The conceptions of this period show two zones of the profiles: *Action at a Distance* and *Theory of Field*. We can verify the importance of the *error* and of the *truth* for the formation of the epistemological profiles' news zones. In the pedagogical field, we did a research in the classroom with some students. We elaborated a course of extension. It has been called "*Historical Fundaments of the electromagnetism*" and, we applied it to the students of the Physical Teaching Course at Unesp/Bauru during the year of 2006. The meeting happened biweekly, in which, we studied some excellent episodes of thematic proposal. The methodology of analysis was divided in three stages of the *psychoanalysis process* proposals by Santos (1998). In the *awareness*, we applied a questionnaire in the first day of class. The *destabilization* consisted in the recording of the meetings for analysis (recording, transcription and interpretation of the data). This stage was divided in two modules that had occurred in the first and second semesters of the year. In the first module, we studied the period until the discovery of electromagnetism and, in the second module, its posterior interpretations. The data had been shown through important stretches to analysis. In the *familiarization*, in the final of the modules, the students had answered new questionnaires synthesis. During the research, we tried to establish a relationship among the ideas and the different profiles' zones. Finally, we did some interviews with the students after two years of the closing of the course. In this way, we have shown the results and its final discussions.

Keywords: Gaston Bachelard, History of Science, Physics Education, Electromagnetism.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
CAP. 1 – REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO.....	19
1.1 As pesquisas em Ensino de Ciências	21
1.2 Reflexões sobre a epistemologia bachelardiana.....	26
1.3 O conhecimento científico: <i>objeto</i> para nós e a <i>coisa em si</i>	33
1.4 A noção de <i>obstáculos epistemológicos</i>	35
1.5 A história da eletricidade sob a óptica de Bachelard.....	39
1.6 A noção de <i>perfil epistemológico</i>	43
1.7 O papel da retificação do “ <i>erro</i> ” em busca da “ <i>verdade</i> ”	48
1.8 A psicanálise do conhecimento objetivo.....	53
CAP. 2 – UMA RECORRÊNCIA HISTÓRICA AO ELETROMAGNETISMO	58
2.1 Fenômenos independentes	60
2.1.1 As primeiras explicações sobre a magnetita.....	61
2.1.2 O início das pesquisas sobre a eletricidade estática.....	64
2.1.3 Semelhanças e diferenças entre <i>eletricidade e magnetismo</i>	71
2.2 A descoberta do <i>eletromagnetismo</i> : o experimento de H. C. Ørsted	74
2.2.1 As versões da descoberta por acaso	78
2.2.2 A interpretação da descoberta do <i>eletromagnetismo</i>	79
2.3 O desenvolvimento de idéias posteriores.....	80
2.3.1 A interpretação de Ampère: interação entre correntes elétricas	82
2.3.2 O trabalho de Arago segue a mesma linha de raciocínio de Ampère	85
2.3.3 As interpretações de Biot e Savart: interação entre dipolos magnéticos	88
2.3.4 Michael Faraday: a idéia de linhas físicas de força magnética.....	89
2.3.5 A síntese do <i>eletromagnetismo</i> com J. C. Maxwell.....	92
2.4 Uma análise da História da Ciência sob o referencial bachelardiano.....	94
CAP. 3 – METODOLOGIA DO TRABALHO DE PESQUISA	101
3.1 Características da amostra investigada	102
3.2 A metodologia do trabalho de pesquisa.....	104

3.2.1 Coleta de dados	106
3.2.1.1 Gravação dos dados	106
3.2.1.2 Questionário inicial e questionários de síntese.....	106
3.2.2 Transcrição e organização dos dados.....	107
3.2.3 Análise dos dados	108
CAP. 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	113
4.1 Etapa da <i>conscientização</i> : a análise do questionário inicial coletado no primeiro dia de aula	114
4.1.1 Quanto à interação entre os fenômenos e ao próprio conhecimento do aluno	116
4.1.2 Tipo de relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos.....	117
4.1.3 Tipo de transmissão de força entre os fenômenos	120
4.1.4 Zonas do perfil epistemológico apresentado pelos alunos	121
4.2 Etapa da <i>desequilíbrio</i> : um olhar sobre o perfil epistemológico em sala de aula....	123
4.2.1 Realismo ingênuo.....	124
4.2.2 Empirismo	129
4.2.3 Racionalismo simples.....	136
4.2.4 O processo dialético-sintético: o experimento de Ørsted como exemplo	139
4.2.5 Síntese e interpretação dos dados	143
4.3 Etapa da <i>familiarização</i> : análise dos questionários no final de cada módulo.....	147
4.3.1 Análise do questionário síntese – módulo 1	147
4.3.2 Apresentação das transcrições relativas à síntese do módulo 1.....	149
4.3.3 Análise do questionário síntese – módulo 2	153
4.3.4 Uma análise dos questionários visando conhecer o perfil epistemológico	154
4.4 Apresentação e análise das entrevistas	156
4.4.1 Apresentação e análise individual das entrevistas	156
4.4.2 Comentários gerais sobre as entrevista e análise do perfil epistemológico esboçado pelos alunos	177
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	181
REFERÊNCIAS.....	190
APÊNDICES	197

LISTAS DE FIGURAS

Figura 01 – Gaston Bachelard (1884-1962)

Figura 02 – Exemplo de *perfil epistemológico* para um conceito genérico

Figura 03 – *Orbis Virtutis* que representa a região da ação magnética da Terra e da *terrela*

Figura 04 – *Versorium*

Figura 05 – Máquina elétrica de Francis Hauksbee

Figura 06 – Experimento feito por Gray sobre a condução da eletricidade

Figura 07 – Experimento da pipa elétrica de Franklin

Figura 08 – Bateria elétrica desenvolvida por Alessandro Volta

Figura 09 – Rascunho encontrado no manuscrito de Ampère. As letras **N** e **S** correspondem aos pólos *norte* e *sul*, respectivamente.

Figura 10 – Representação das espiras de Arago com núcleo de aço

Figura 11 – Representação esquemática do experimento feito por François Arago

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Posição do pensamento de Bachelard no ponto central das filosofias contrárias

Quadro 02 – Estrutura geral dos tempos críticos

Quadro 03 – Diagrama esquemático do desenvolvimento histórico do eletromagnetismo

Quadro 04 – Síntese cronológica dos acontecimentos

Quadro 05 – Esquema das concepções históricas sobre os fenômenos eletromagnéticos

Quadro 06 – Caracterização geral do perfil epistemológico *coulombiano* e *maxwelliano*

Quadro 07 – Esquema de coleta e análise de dados

Quadro 08 – Quanto à existência de interação e ao próprio conhecimento do aluno

Quadro 09 – Enquadramento das características presentes nas diversas regiões do perfil

Quadro 10 - Perfis epistemológicos relacionados ao eletromagnetismo (síntese)

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Zonas do *perfil epistemológico* (geral)

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Quanto à relação entre os fenômenos e ao próprio conhecimento do aluno

Tabela 02 – Quanto à interação entre os fenômenos

Tabela 03 – Tipo de transmissão de força entre os fenômenos

Tabela 04 – Zonas do *perfil epistemológico* apresentado pelos alunos (síntese)

Tabela 05 - Zonas do *perfil epistemológico* (geral)

LISTAS DE APÊNDICES

Apêndice A – Folder de divulgação do curso “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*”

Apêndice B – Ficha de inscrição do curso “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*”

Apêndice C – Cronograma do curso “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*”

Apêndice D – Exemplo do certificado entregue aos alunos

Apêndice E – Questionário aplicado no primeiro dia do curso

Apêndice F – Resposta dos alunos (na íntegra)

Apêndice G – Fichas sínteses do primeiro questionário (inicial)

Apêndice H1 – Questionário final do módulo 1

Apêndice H2 – Questionário final do módulo 2

Apêndice H3 – Alguns trechos extraídos dos textos históricos

Apêndice I1 – Respostas do módulo 1

Apêndice I2 – Respostas do módulo 2

Apêndice J1 – Ficha síntese do módulo 1

Apêndice J2 – Ficha síntese do módulo 2

Apêndice K – Enquadramento do *perfil epistemológico* apresentado pelos alunos

Apêndice L – Fotos de alguns experimentos realizados durante o curso

Apêndice M – *Perfil epistemológico* esboçado pelos alunos entrevistados

INTRODUÇÃO

“erro, não és um mal” (BACHELARD, 1996, p. 298).
“A verdade é filha da discussão e não da simpatia” (BACHELARD, 1991, p. 125).

O objetivo fundamental deste trabalho de pesquisa é buscar compreender alguns elementos do processo de aprendizagem, a fim de verificar se o processo dialético entre o *erro* e a *verdade*, entre a *razão* e a *experiência*, propicia a construção de novas zonas ou regiões do perfil epistemológico bachelardiano nos alunos e, conseqüentemente, contribui para a aquisição de um conhecimento mais elaborado e sistematizado, num avanço crescente a um maior grau de coerência racional. O projeto envolveu estudantes do curso de licenciatura em Física por meio de um projeto de extensão e, abordou os principais conceitos relacionados aos tópicos da eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo.

Antes de apresentarmos a nossa proposta de trabalho, é preciso esclarecer a que tipo de *erro* nós estamos nos referindo e, a concepção de *verdade* implícita em nossa pesquisa, para não incorreremos na hipótese do leitor tomá-los em seu sentido habitual. Portanto, os termos “*erro*” e “*verdade*” devem ser entendidos no sentido bachelardiano. Alertamos para o fato de que, estes termos também não devem ser confundidos com uma visão “whiggista”¹ da história da ciência.

O *erro* é um tema de pesquisa multidisciplinar e tem sido objeto de estudo em diversas áreas do conhecimento, dentre as quais podemos citar: a física, matemática, estatística, história, filosofia, direito e lingüística. Como nos lembra Torre (2007, p. 20), o *erro* também tem sido difundido por meio de expressões empregadas no cotidiano, ou seja, nos “famosos ditados populares”.

Em relação aos tipos de *erros*, eles podem ser basicamente de dois tipos: *pensamento* ou *ação*. Se entendidos como sendo a distorção, inadequação ou impropriedade de um

¹ Whiggismo – “Ponto de vista historiográfico, em geral, lamentável, que julga a importância de eventos passados à luz dos padrões, preocupações, etc., atuais, ou que se ocupa apenas daqueles acontecimentos passados que obviamente parecem ter conduzido ao atual estado de coisas. Uma ameaça sempre presente, capaz de comprometer o trabalho na história da ciência” (HENRY, 1998, p. 142).

processo, ele possui um caráter relativo. Desta forma, o *erro*, pode assumir duas conotações distintas: *a negativa* ou *a positiva*.

No primeiro caso, se seu efeito tiver um caráter deturpador ou destrutivo, em que ocorre uma falha irreversível, o *erro* pode e deve ser evitado. Nestes casos, enquadram-se os acidentes de trânsito, os erros médicos (que podem agravar uma enfermidade ou levar o paciente ao óbito), além de algumas injustiças cometidas contra alunos, que podem persistir durante um longo tempo e prejudicar o seu desenvolvimento.

No campo da didática, Santos (2005, p. 25) relembra o ensino dogmático-transmissivo, que foi adotado na primeira metade do século passado, no qual, o foco do processo de ensino era centrado no professor. Esta vertente educacional se baseava no pressuposto de que o conhecimento existe fora de nós e, portanto, basta que o professor exponha o conteúdo para que o aluno aprenda. Desta forma, pretendia se formar uma mente receptiva ao conhecimento, sem que houvesse questionamentos. Caso não ocorresse a aprendizagem, a responsabilidade recaía sobre o próprio aprendiz. A comunicação desta abordagem era unilateral e vertical, pois o educador, sendo detentor do saber, cultivava atitudes severas, vigilantes e autoritárias face aos educando. Sob este enfoque pedagógico, Torre (2007, p. 59) salientou que era natural que todo elemento que atrapalhasse a aprendizagem, como era o caso do *erro*, deveria ser evitado. Assim, segundo o autor, havia a prescrição skinneriana que defendia que deveríamos evitar o *erro* como princípio de ensino, ou seja, criar condições e estratégias para que o aluno não cometesse *erros*. No entanto, sendo ele inevitável, o *erro* era visto como um indicador de fracasso. Sendo assim, tanto a indisciplina, como a falha por não saber a lição ou por não adquirir a aprendizagem na forma desejada, era motivo de repreensão, sanção ou castigo, sendo muitas vezes, a “palmatória” o instrumento utilizado para punição do aluno. Este tipo de ensino, segundo Santos (2005, p. 28) caminha do fato para as idéias, valorizando o pensamento elementar em detrimento de um conhecimento mais elaborado. Baseia-se nas perspectivas psicológicas behavioristas (estímulo-resposta) e nas perspectivas epistemológicas de cunho empirista e realista, em que a percepção asfixia a reflexão. Destarte, estas perspectivas “atribuem uma prioridade epistemológica absoluta aos fatos e teoriza instrumentalmente a metodologia científica como definição última de significado e verdade”. Outra característica enunciada por Torre (2007, p. 60) é que o ensino transmissivo considerava que a aprendizagem se dava mediante a exaustiva repetição de exercícios relacionados a uma determinada temática. Assim, era possível diminuir o número de respostas erradas por meio da “exercitação”.

Em uma concepção totalmente antagônica ao papel desempenhado pelo *erro* em didática, temos a sua *conotação positiva*. O *erro* não é mais entendido como um resultado, mas como um processo criativo e construtivo da aprendizagem. Neste novo enfoque, não se pretende limpar o caminho das dificuldades, nem evitar *erros* e, muito menos, provocá-los, mas, sendo ele um obstáculo inevitável a transpor, devemos utilizá-los quando eles surgem. Conseqüentemente, o *erro* não pode ser tomado como um objetivo ou uma meta em si, mas como um obstáculo provocativo que temos que superar. Para Torre (2007, p. 28), “o *erro* é uma variável concomitante ao processo educativo, porque não é possível avançar em um longo e desconhecido caminho, sem se equivocar. Não há aprendizagem isenta de *erros*”.

Esta vertente processual se inscreve numa linha pedagógica construtivista, em que o ensino não é mais centrado no professor e, muito menos no aluno, mas num processo educativo e interativo entre o educador e o educando. Trata-se de uma comunicação horizontal *dialógica e dialética*. Santos (2005, p. 31) elencou algumas características desta abordagem: valoriza as *idéias prévias* do aprendiz; o sujeito cognoscente exerce um *papel ativo* na aprendizagem; o papel do professor é de *organizador e facilitador das atividades cognitivas* e; finalmente, o conhecimento passa por *reestruturações sucessivas* durante o processo. A autora destaca que as teorias psicológicas construtivistas, representadas por autores como Piaget e Vigotsky e, o movimento epistemológico contemporâneo em que se destacam filósofos como Popper, Lakatos, Kuhn, Bachelard, etc., se enquadra nesta categoria. Tal concepção epistemológica, segundo Santos (2005, p. 34), “pressupõe a necessidade do *erro* como elemento constitutivo do conhecimento – doutrina da positividade do *erro*. De fato, a evolução do conhecimento faz-se por uma cadeia de *erros* e *acertos*, tão necessários uns como os outros ao pensamento racional”.

Segundo Torre (2007, p. 77), na perspectiva construtivista, o *erro* pode ser considerado como um desequilíbrio entre o resultado esperado e o resultado obtido. Neste sentido, Torre defende que o *erro* consiste em uma *alavanca para a mudança*. Portanto, devemos conceber o *erro* como um sintoma, e não como um mal. Do mesmo modo que a febre nos alerta de possíveis infecções, os *erros* na aprendizagem pode nos fornecer informações sobre estratégias inadequadas de ensino, lacunas no conhecimento, falhas na compreensão, lapsos na execução, etc. (TORRE, 2007, p. 28). Uma pedagogia que considera o *erro* intrínseco ao processo, leva implícita a reflexão e a revisão de tarefas, tanto do professor como do aluno. Esta análise diagnóstica dos mecanismos cognitivos permite ao professor averiguar quais conceitos o aluno tem deficiência, possibilitando a intervenção no

processo de aprendizagem e orientando sua ação. Visto que, os mecanismos de pensamento integram valores culturais, há que se respeitarem as diferenças individuais dos aprendizes.

A temática do *erro* também pode ser tratada numa abordagem histórica, filosófica e epistemológica. Torre (2007, p. 20) esclarece que há *erros* que marcam a história, pois o êxito de algumas descobertas científicas se deve ao *erro* ou ao *acaso* que impulsionaram o avanço em busca da *verdade*. Há também, os grandes “*acertos*” que são frutos do esforço, do empenho e da capacitação intelectual e criativa das pessoas. Desta forma, o autor considera que “o erro é uma das engrenagens da história” (TORRE, 2007, p. 46). A intuição e a imaginação exercem um papel fundamental e são conceitos sem os quais dificilmente se entenderia o progresso científico, visto que, o conhecimento é um ato humano. Assim, o professor deve insistir em “estratégias cognitivas para desenvolver processos, para indagar, para descobrir semelhanças e diferenças entre os fenômenos, ao contrário de imbuir o aluno de supostas *verdades* de uma pretensa ciência. Vale mais desenvolver um pensamento crítico e criativo” (TORRE, 2007, p. 22).

Torre (2007) sintetiza a busca pela *verdade* na construção do conhecimento sob o enfoque filosófico dos principais pensadores como Popper, Lakatos e Kuhn. O autor esclarece que para Kuhn, “a consciência de uma situação problemática e conflitante é o ponto de partida das grandes descobertas e para construção de teorias científicas”. Neste sentido, ele defende que “tanto a psicologia cognitiva como a epistemologia e a história do conhecimento, avalizam a idéia de que o progresso, o avanço e as mudanças qualitativas estão relacionados com as tomadas de consciência de certos problemas” (TORRE, 2007, p. 45). Isto significa que uma das condições para que o aluno desperte sua mente à aprendizagem de conceitos é a tomada de consciência de seus próprios *erros*.

Para Torre (2007, p. 36) “dizer que a ciência se constrói sobre as ruínas dos erros cometidos, equivale a dizer que o ‘*novo*’ tem suas raízes no ‘*velho*’. Não há conhecimento novo que não esteja determinado de alguma maneira por conhecimentos anteriores”. O pensamento ao integrar valores culturais, considera como referência o passado vivenciado pelo aprendiz, ou seja, considera as concepções prévias ou alternativas que o aluno possui e que traz consigo para o ambiente escolar.

O tratamento que vamos dar ao *erro*, neste trabalho de pesquisa, está em consonância com a concepção bachelardiana que atribui uma *conotação positiva* ao *erro*. Sendo assim, as considerações feitas anteriormente, nesta vertente, estão em acordo com a nossa abordagem. Também, segundo Santos (2005, p. 38), não há como dissociar a pedagogia em Bachelard de

seu projeto epistemológico de natureza racionalista/construtivista. Assim, Bachelard também considera o *erro* como um “passo obrigatório” do conhecimento num processo de busca infundável a uma *verdade* inatingível, sempre em progresso. Para ele, não existem *erros* ou *verdades* absolutas. Ele considera ainda um olhar atento aos *obstáculos epistemológicos* “sedimentados pela vida cotidiana” que dificultam a aquisição e a formação do saber. Para Bachelard, o aprendiz é fruto de uma cultura e possui gradações peculiares de desenvolvimento. Estes patamares de desenvolvimento constituem aquilo que Bachelard denominou de *perfil epistemológico*, que depende dos contextos em que o aluno está inserido. As noções de *obstáculos* e *perfil epistemológico* são fundamentais e serão desenvolvidas no decorrer do nosso trabalho.

Para Bachelard, o conhecimento nada mais é do que a *retificação* de passos anteriores. Neste sentido, o conhecimento novo projeta uma luz *recorrente* sobre o conhecimento antigo. A interação professor-aluno é uma relação *dialética* e *dialógica*. O professor nunca deixa de aprender e, o aluno na medida em que aprende, também é capaz de ensinar. Ambos devem ser capazes de dialetizar seus conhecimentos. Outra característica importante da epistemologia bachelardiana é que o conhecimento científico é fruto da relação dialética *razão-experiência*, que caminha para uma coerência racional.

Como já salientamos, Bachelard defende o caráter da positividade do *erro*. O autor considera que, é por meio da retificação de *erros* sucessivos, que o pensamento busca a *verdade*. Dito de outro modo, ao afastarmos conscientemente erros cada vez mais refinados, é que, nos aproximamos de um conhecimento mais elaborado. A *verdade* “triunfa” sobre o *erro*, mas cada *verdade* é a negação de uma *verdade* anterior e, esta nova *verdade* não é definitiva: ela é provisória. Assim, “a *verdade* de hoje será o *erro* de amanhã” e “o *erro* de hoje é a nossa *verdade*” (SANTOS, 2005, p. 120).

Bachelard advogou sobre o papel desempenhado pelo *erro* na construção do conhecimento defendendo que “o *erro* é um dos tempos da dialética que precisa ser transposta. Ele suscita uma investigação mais precisa, é o elemento motor do conhecimento” (BACHELARD, 2004, p. 251). Neste sentido, é que vamos nortear o nosso “olhar investigativo”.

Optamos por dividir a apresentação do nosso trabalho em quatro Capítulos:

No *Capítulo 1*, apresentaremos nosso referencial: *Gaston Bachelard (1884-1962)*. Inicialmente faremos uma revisão geral na literatura sobre as pesquisas em Ensino de Ciências, para em seguida, expor a epistemologia bachelardiana propriamente dita. Nela,

discutiremos suas principais características e apresentaremos as noções fundamentais de *obstáculos e perfil epistemológicos*. Daremos um enfoque especial ao papel desempenhado pelo erro no processo de aprendizagem sob a óptica de Bachelard e, teceremos algumas considerações a respeito da “psicanálise do conhecimento objetivo”, nos apropriaremos da proposta feita por Santos (1998) que sugeriu alguns passos pedagógicos que orientaram nossa ação.

O *Capítulo 2* trata do conteúdo que iremos abordar: *o eletromagnetismo clássico*. Assim, por meio de uma abordagem histórica *recorrente*, apresentaremos elementos que nos permitiram refletir acerca das dificuldades e do processo dialético entre *razão e experiência* que possibilitaram o avanço científico. A eletricidade e o magnetismo, antes considerados ramos de estudos distintos, foram unificados e, diversas idéias surgiram a fim de explicar interação entre estes fenômenos. As concepções da “*ação a distância*” (ação magnética e ação eletrodinâmica) e “*teoria de campo*”, segundo Furió e Guisasola (1998a) podem ser encarados como duas regiões distintas do perfil epistemológico, que guiaram o pensamento científico num processo de ajustamento entre essas concepções e na busca incessante pela “*verdade*”.

Destinamos o *Capítulo 3* para expor a nossa *Metodologia de Pesquisa*. Nele, podemos encontrar as características da amostra investigada, bem como, conhecer os passos seguidos na *coleta, transcrição, organização e análise dos dados*. Nesta oportunidade, explicitaremos os três *tempos lógicos* da “psicanálise” propostos por Santos (1998), que nortearam nosso trabalho de pesquisa: *conscientização, desequilíbrio e familiarização*.

Finalmente, o *Capítulo 4* contém o trabalho efetivamente realizado em sala de aula. Procuramos sintetizar neste capítulo, as principais dificuldades com as quais nos defrontamos durante o processo investigativo e os dados que julgamos mais relevantes para nossas análises. Apresentaremos e discutiremos também, as *entrevistas* realizadas com os alunos depois de transcorrido aproximadamente dois anos de encerramento do curso. As interpretações estão fundamentadas no referencial epistemológico e pedagógico de *Gaston Bachelard*.

A última parte do trabalho, denominada “*Considerações Finais*”, consiste num momento de reflexão acerca dos resultados e das implicações sobre o trabalho de pesquisa realizado.

1. REFERENCIAL EPISTEMOLÓGICO

“é em termos de obstáculos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado” (BACHELARD, 1996, p. 17).

O objetivo central deste trabalho de pesquisa é compreender e analisar a importância do “erro”² no processo de aprendizagem. A obra epistemológica de Gaston Bachelard³ (1884-1962) apresenta elementos que fundamentam este trabalho de pesquisa, pois ela se aplica tanto ao estudo do processo de construção da ciência quanto ao processo de aprendizagem individual. Sob o aspecto histórico, ela fornece subsídios para regressarmos ao passado das concepções sobre a *eletricidade*, o *magnetismo* e o *eletromagnetismo* e julgarmos os *erros* na formação desses conceitos sob a luz do presente, por meio de uma *história recorrente*. No aspecto pedagógico, ela auxilia o nosso estudo sobre a psicologia do espírito científico nas questões referentes ao aprendizado desta temática.

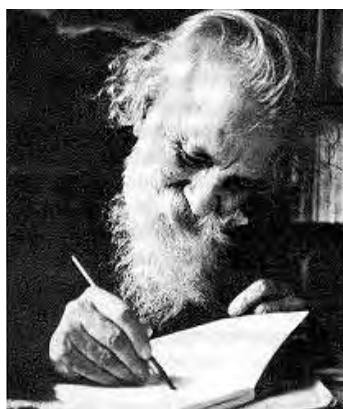


Figura 1 – Gaston Bachelard (1884-1962)⁴

² Como já salientamos na introdução deste trabalho que a palavra *erro* deve ser entendida no sentido bachelardiano.

³ Bachelard nasceu em 27 de julho de 1884, no vilarejo denominado Bar-sur-Aube, na região de Champagne, no interior da França. Morreu em Paris, cosmopolita e industrializada, em 16 de outubro de 1962. Ao terminar o curso secundário, ingressou na administração dos Correios e Telégrafos e se preparava para seguir a carreira de Engenheiro, quando a guerra de 1914 mudou seu destino. Concluiu seus estudos em Matemática e tornou-se professor do ensino secundário lecionando várias disciplinas científicas e também a disciplina de filosofia (1919-1930). Em 1928, publicou duas teses defendidas no ano anterior: *Ensaio sobre o conhecimento aproximado e Estudo sobre a evolução de um problema de física: a propagação térmica nos sólidos*. Em 1930, é convidado a lecionar na Faculdade de Letras de Dijon; em 1940, ingressa na Sorbonne de Paris. Em 1955, torna-se membro da Academia de Ciências e recebe o Grande Prêmio das Letras em 1961. Sua obra é composta de dezenas de livros e se divide em duas vertentes opostas: a *científica* e a *poética* (JAPIASSU, 1976, p. 17-30; DAGNONET, 1980, p 9-11). Neste trabalho, trataremos apenas da primeira vertente: a *epistemológica*.

⁴ <http://www.geocities.com/Athens/Acropolis/9568/bachelard1.jpg>.

Embora os trabalhos de Bachelard estejam ligados diretamente ao desenvolvimento histórico, ele está permeado de intenções pedagógicas. Lopes (1996, p. 252) ressalta a inegável importância da obra de Bachelard aos professores e pesquisadores em ensino de ciências. De acordo com Santos (1998, p. 130), as pesquisas ainda não apreciaram o justo valor do pensamento bachelardiano e têm dado pouca importância a este referencial. Martins (2004, p. 33) concorda com as autoras e observa que embora “alguns autores citem Bachelard, na maioria dos casos eles o fazem de passagem, aproveitando algumas de suas idéias ou expressões”, de forma descontextualizada. Para Martins, a epistemologia de Bachelard pode auxiliar “na busca de respostas aos problemas colocados pela área da didática das ciências”. A nosso ver, o pensamento bachelardiano está em consonância com a pedagogia atual, particularmente com o ensino de ciências e, não podemos ignorar a relação existente entre o desenvolvimento de idéias em sala de aula e os aspectos envolvidos na trajetória histórica ao longo da formação dos conceitos. Por este motivo, a epistemologia de Bachelard fundamenta este trabalho e conduz nosso olhar sobre a interpretação dos dados coletados nesta pesquisa.

Profundo conhecedor da Ciência de seu tempo, Bachelard (1977, p. 19) se declarou “mais professor que filósofo”. Para ele a melhor maneira de avaliar a solidez das idéias era ensiná-las. Durante longos anos ele se dedicou ao magistério das ciências químicas e físicas, sempre preocupado com estudo psicológico da mente cognoscente. Poucos professores, como ele, “se detiveram na psicologia do *erro*, da ignorância e da irreflexão” (BACHELARD, 1996, p. 23).

A finalidade deste capítulo é apresentar algumas discussões sobre a literatura em ensino de ciências relacionadas às dificuldades de aprendizagem e sobre os aspectos importantes e fundamentais da epistemologia bachelardiana. Dividimos este capítulo em oito seções: na *primeira* seção, vamos dialogar com os trabalhos e as pesquisas da área de ensino de ciências; a *segunda* seção apresenta uma visão global da epistemologia de Bachelard, ressaltando seu caráter *histórico, descontinuista, racionalista e dialético*⁵; a seção *três* mostra

⁵ A *dialética em Bachelard*, não pode ser confundida com a acepção clássica do termo: por exemplo, a dialética filosófica em *Hegel* procede por oposição entre a tese e a antítese e sua fusão numa noção superior de síntese. Na dialética bachelardiana a tese e a antítese não são contraditórias, pelo contrário, elas são complementares. “Ela imprime um movimento indutivo que a caracteriza e que determina uma reorganização do saber numa base alargada” (BACHELARD, 1991, p. 127). “Trata-se, antes de tudo, da dialética ‘espontânea’ da prática científica. Contra o ceticismo filosófico, ela afirma a *existência* dos objetos da ciência. Sua função é a de reorganizar o saber. Ela se inscreve no diálogo [...] entre elaboradores de hipóteses e teorias e os efetadores de experiências. Esta troca de informações tem por objetivo ajustar *teoria e experiência*. Todavia, não sendo possível recorrermos a um objeto fixo, devemos pensar este *ajustamento* não como uma adequação formal, mas como um processo histórico. Trata-se de uma história que de forma alguma assegura que a teoria esteja destinada a encontrar

a incessante tarefa do espírito científico em busca da objetividade, salientando a grande diferença entre o objeto imediato e o objeto pensado, refletido e construído; a noção de *obstáculos epistemológicos* e exemplos destes obstáculos no campo da eletricidade são introduzidos na seção *quatro* e *cinco*, respectivamente; a seção *seis* apresenta a noção de *perfil epistemológico* e, que, juntamente com os obstáculos, constituem elementos fundamentais ao aprendizado do conhecimento científico tanto em nível epistemológico, quanto em nível ontológico; na *penúltima seção*, discutiremos o papel do *erro* no processo de aquisição e formação de conceitos e; finalizando, na *última seção* deste capítulo discutiremos aspectos básicos da pedagogia bachelardiana e uma visão geral da psicanálise do conhecimento objetivo salientando as etapas do *tempo crítico* propostas por Santos (1998) e fundamentadas em Bachelard, que utilizaremos como metodologia de trabalho.

1.1 As Pesquisas em Ensino de Ciências.

As dificuldades na aquisição de conceitos científicos têm sido alvo de investigação na área de ensino de ciências, particularmente no ensino de Física e, especificadamente no estudo do eletromagnetismo. Estes problemas inerentes ao processo de aprendizagem não advém somente da complexidade dos fenômenos, mas também, provém do próprio sistema cognitivo daquele que aprende. Sendo assim, alguns trabalhos têm dedicado sua atenção às possíveis causas das dificuldades referentes a esta temática, tendo como foco o sujeito aprendiz.

Furió e Guisasola (1999) alertam que existem dificuldades no campo da eletrostática, referentes às noções de campo e potencial elétrico, noções estas, que são pré-requisitos para que o aluno adquira uma visão mais abrangente do fenômeno eletromagnético. Para os autores, é importante que os professores tenham em mente quais são as pré-concepções mais problemáticas apresentadas pelos alunos. Por meio de uma análise de questionários e entrevistas sobre a concepção de carga e campo elétrico, Furió e Guisasola (1998b), esclareceram que os estudantes possuem certas dificuldades em interpretar o fenômeno da eletrização e geralmente utilizam modelos hidrostáticos para explicá-lo. Bachelard (1996) nos alerta que a palavra *esponja* caracteriza-se como um *obstáculo verbal*, pois ela parece trazer à

sempre um meio de realizar-se, mas está sujeita a riscos e a fracassos. Os riscos e fracassos, ao invés de revelarem uma crise da ciência, são a ocasião de um trabalho, porque proporcionam aos cientistas oportunidade tanto de reverem suas teorias e de formularem novas hipóteses, quanto de aperfeiçoarem suas experiências e de melhor controlarem seus instrumentos. Por intermédio desse processo é que se *reorganiza o saber*. E é esta reorganização que Bachelard chama de *dialética*” (JAPIASSU, 1976, p. 66).

mente, todo o significado do processo de eletrização quando se faz a analogia entre a quantidade de água presente na esponja e a quantidade do fluido elétrico.

Pensamos que no caso da eletricidade dinâmica o problema é ainda mais grave, pois a analogia entre a corrente elétrica e o fluxo de água se faz quase sempre presente. Posada (1997) estudou as representações⁶ dos alunos referentes à estrutura interna e a condução elétrica dos metais. Estas idéias representam um obstáculo ao aprendizado da química e, estes obstáculos mediam suas representações sobre a realidade. Ele alega que o abandono destes obstáculos não é uma tarefa tão fácil, pois eles não estão isolados e fazem parte de uma estrutura, na qual os diferentes elementos se sustentam e se reforçam uns aos outros. Estas representações mentais incluem diferentes categorias explicativas em um mesmo indivíduo, dependendo do *contexto* e do *conteúdo* que está sendo tratado. Guisasola, Almudí e Zubimendi (2003) afirmam que ao analisarem o raciocínio empregado pelos estudantes referentes à natureza do campo magnético, se depararam com dificuldades análogas.

Os trabalhos de Furió e Guisasola (1998a, 1998b) e Guisasola, Almudí e Zubimendi (2003), defendem certos paralelos entre as dificuldades na aprendizagem destes conceitos e os problemas ocorridos na sua formação ao longo do processo histórico. Segundo eles, as dificuldades dos estudantes na formação de novos conceitos, derivam de dificuldades *ontológicas* e *epistemológicas*, mais do que da existência de pré-concepções que os alunos trazem sobre estes conceitos.

No que concerne ao ensino de ciências, estas dificuldades podem ser analisadas à luz das concepções alternativas. Martins (2004) assinalou que as décadas de setenta e oitenta foram marcadas pela linha de investigação conhecida como *Movimento das Concepções Alternativas (MCA)*; junto a este movimento houve tentativas de aplicação do *Modelo de Mudança Conceitual (MMC)* (POSNER *et al.*, 1982). Contudo, as idéias prévias dos estudantes se mostraram resistentes à extinção, ou seja, elas persistiam apesar da instrução. Desta forma, fundamentado na noção de *perfil epistemológico* bachelardiana, Mortimer (2000) propôs a idéia de *perfil conceitual* e enfatizou a possibilidade de se usar diferentes formas de pensamento em diferentes domínios e situações. Desta forma, uma pessoa com uma formação científica, ao se referir a uma blusa de lã, pode perfeitamente dizer que a blusa de lã

⁶ Para exemplificar algumas conclusões deste trabalho: os alunos consideram que a “eletricidade positiva” sai do pólo *positivo* da bateria e a “eletricidade negativa” sai do pólo *negativo*, seguindo em sentidos contrários; a condução elétrica ocorre somente no fio e não no interior dos componentes do circuito; os estudantes consideram que os átomos existentes no fio ou os íons da bateria é que se movem no interior do condutor, e não os elétrons; finalmente, a eletricidade é considerada um agente “desencadeador” que passa de um átomo ao outro através do fio.

é “quente”, utilizando a palavra que expressa o *calor* no sentido de *senso comum*, pois, seria “pedante” à alguém dizer que vestiu uma blusa de lã, porque ela é um bom isolante térmico e impede a troca de energia térmica entre o seu corpo e o ambiente externo (MORTIMER, 2000, p. 60).

O trabalho de Furió e Guisasola (1998a) exemplifica a idéia de *perfil epistemológico*, ao estudar dois estágios de desenvolvimento. O primeiro modelo de interação é a *ação a distância* proposto por Newton, e que, posteriormente, Charles Augustin Coulomb (1736-1806) também o utiliza na eletrostática e magnetostática. O segundo modelo, trata da construção do *modelo de campo* sugerida intuitivamente por Michael Faraday (1791-1867) e que posteriormente, no final do século XIX, James Clark Maxwell (1831-1879) se baseou para desenvolver sua *teoria de campo eletromagnético*. O primeiro modelo considera a ação direta entre os corpos, em que a ação é instantânea e age ao longo da reta que os une, sem a interveniência de um meio propagador dessa ação. O segundo modelo, sugere a presença de um meio (*o éter*) entre os corpos nos quais a ação deve se propagar e, portanto, ela não ocorre instantaneamente. Para Furió e Guisasola (1998a), estes estágios epistemológicos podem ser denominados de *coulombiano* e *maxwelliano* e podem ser entendidos como perfis epistemológicos com diferentes ordens hierárquicas, em que o perfil sucessivo teria um maior poder de explicação sobre o seu predecessor⁷. Eles também discutiram que, em sala de aula, os estudantes não estabelecem diferenças claras entre estes conceitos, sugerindo que as concepções de *ação a distância* e as noções da idéia da *teoria de campo*, coexistem na mente do aprendiz. Desta forma, o aprendizado e o desenvolvimento humano podem ser entendidos basicamente como processos de construção, no qual a percepção individual exerce um papel fundamental na formação de conceitos científicos.

Na interpretação de Martins (2004, p. 38), as concepções alternativas *são expressões da existência daquilo que Gaston Bachelard (1996) denominou de obstáculos epistemológicos*. Estes obstáculos não advêm da complexidade dos fenômenos e nem da incapacidade do sujeito cognoscente, mas estão no âmago do próprio ato de conhecer, em que aparecem certas lentidões e conflitos. De acordo com Bachelard (1996, p. 21), a idéia de *obstáculos epistemológicos*, que são “causas de estagnação e até de regressão do

⁷ Maxwell parece discordar que a teoria da ação a distância é uma generalização da teoria de campo. Para ele, do ponto de vista filosófico é importante comparar os dois métodos, pois ambos são capazes de explicar os principais fenômenos eletromagnéticos. No entanto, segundo ele, as concepções fundamentais e secundárias destes métodos são radicalmente diferentes (MAXWELL, apud ASSIS, 1992).

pensamento”, pode ser estudada tanto no desenvolvimento da ciência, como na prática da educação.

Souza Filho e Caluzi (2005) investigaram os principais obstáculos epistemológicos presentes em alunos de nível universitário, ao introduzirem em sala de aula a reprodução de um experimento⁸ semelhante aquele que possibilitou H. C. Ørsted propor o eletromagnetismo, para que os alunos expressassem suas idéias em relação ao fenômeno observado. Os dados foram coletados por meio de um questionário contendo duas questões. Os resultados obtidos em sala de aula detectaram a existência de obstáculos presentes nos aprendizes, ao tentarem descrever os aspectos conceituais do fenômeno. Os resultados foram categorizados de acordo com os diferentes tipos de obstáculos epistemológicos propostos por Bachelard.

Em outro trabalho, Souza Filho e Caluzi (2006) questionaram se os estudantes realmente concebiam a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, pois no período ulterior ao experimento de Ørsted, houve duas correntes teóricas: uma explicando o fenômeno como a *interação entre dipolos magnéticos*; a outra por meio da interação eletrodinâmica, ou seja, a *interação entre correntes elétricas*. As respostas foram unânimes em relação à existência do eletromagnetismo. No entanto, os alunos tiveram sérias dificuldades em explicar como se dava esta interação pautando-se quase sempre em seus conhecimentos gerais sobre o assunto.

O trabalho de Souza Filho, Boss e Caluzi (2008a) ao discutir as diferenças e semelhanças relativas aos fenômenos elétricos e magnéticos apresentaram duas situações experimentais em sala de aula. Na primeira, um bastão atritado atrai um filete de água, mas será que um ímã posicionado adequadamente interage com este filete? Na segunda situação, sabe-se que um ímã atrai materiais ferromagnéticos, como por exemplo, limalhas de ferro. Será que um bastão atritado atrai estas limalhas? Estas duas questões foram formuladas e os estudantes ao tentar respondê-las se depararam com dificuldades conceituais e buscaram retificar seus *erros* por meio de algumas hipóteses explicativas. Em síntese, os resultados indicaram que os estudantes possuem as concepções de que um filete de água, sendo composto de “cargas elétricas” em movimento, pode gerar um campo magnético ao seu redor e sofrer a interação do ímã. Estas cargas, no entanto, não são elétrons em movimento e sim, íons pertencentes às moléculas da água. Por outro lado, eles consideraram que, pequenas limalhas de ferro (material ferromagnético) também teriam que estar eletricamente carregadas

⁸ Um fio conduzindo uma corrente elétrica é capaz de defletir a agulha de uma bússola colocada em suas proximidades. No capítulo seguinte abordaremos com mais detalhes este experimento.

para sofrer interação de um bastão eletricamente carregado. Eles desconsideraram que a atração elétrica ocorre com uma enorme gama de materiais, sejam eles sólidos ou líquidos.

Em outro trabalho, Souza Filho, Boss e Caluzi (2008b) estudaram os *obstáculos* e o *perfil epistemológico* dos estudantes relacionados ao conhecimento que eles possuíam a respeito dos *íons*. As falas dos estudantes foram enquadradas em três zonas do perfil epistemológico: *realismo ingênuo*, *empirismo* e *racionalismo simples*. Os autores traçaram um paralelo entre os obstáculos e perfis epistemológicos históricos e as noções apresentadas pelos alunos em sala de aula.

O trabalho de Martins (2004)⁹ utiliza a noção de *perfil epistemológico* para um estudo histórico sobre a *conceitualização de tempo*, aplicando entrevistas semi-estruturadas com alunos do ensino fundamental e médio, a fim de compreender aspectos da construção do tempo por parte destes estudantes. As questões das entrevistas se subdividiram em seis blocos e as suas análises foram categorizadas em duas dimensões: os *processos temporais* que revelam como o sujeito percebe a passagem do tempo e como ele procura medir esta passagem e, a *natureza do tempo* que corresponde aos aspectos ontológicos relacionados ao pensamento dos entrevistados sobre o que vem a ser o tempo para esses estudantes. As noções de obstáculos e de perfil epistemológicos bachelardianos se mostraram férteis, uma vez que, a análise do material permitiu delinear as características mais marcantes do processo, num caminhar para a objetivação e a racionalização crescentes deste conceito.

Martins (2004, p. 36) relata que alguns trabalhos na linha de investigação sobre as concepções alternativas que mostram que o aprendiz apresenta alguns esquemas comuns de pensamento e que representam certas “tendências do pensar”. Esses esquemas apresentam convergências entre os traços característicos das concepções alternativas para os diferentes conteúdos. Não pretendemos entrar em detalhes, mas apenas para exemplificar, podemos dizer que os estudantes possuem pensamentos dominados por aspectos óbvios da percepção; eles possuem tendências para substancializar (coisificar) certas noções abstratas ou percepções sensoriais; etc.

As concepções alternativas apresentam um conjunto de características que foram elencadas por Martins (2004, p. 37; 2007, p. 51) e que convém destacar:

- Em muitos casos, as concepções alternativas apresentam *paralelos com concepções presentes na história da ciência*. Para Bachelard a história da ciência

⁹ Para mais detalhes ver também MARTINS e PACCA (2005); MARTINS (2007).

não é apenas importante para a epistemologia, mas é constitutiva dela, pois é aí que o autor busca elementos que ilustram e alicerçam suas teses principais;

- As concepções alternativas possuem um caráter *idiossincrático* de natureza eminentemente pessoal, fruto da construção própria de cada indivíduo. Assim, sob a ótica da epistemologia bachelardiana, elas poderiam ser pensadas na perspectiva dialética entre aquilo que é próprio do sujeito e aquilo que o transcende, sendo comum a outras culturas ou épocas. No entanto, vale ressaltar que muitas concepções podem ser compartilhadas por pessoas de diferentes idades e culturas;
- Elas são influenciadas pela *linguagem*. A linguagem *científica* não é idêntica à do *senso comum*. Geralmente, possuem significados distintos em ambos os domínios;
- Elas são *estruturadas* e possuem certa dose de *coerência interna*. Sendo assim, os *erros* se mantêm solidários e se reforçam mutuamente. Assim, a destruição de *erros*, *valores* e *preconceitos* acumulados na vida cotidiana se tornam muito mais difíceis;
- Elas são *pouco consistentes*, levando o aprendiz a explicações contraditórias sobre os conceitos;
- Elas são *resistentes a mudança*, persistindo ao longo do tempo, apesar do ensino formal (sua superação nunca é total), e finalmente;
- Há a *convivência* de diferentes concepções na estrutura cognitiva dos sujeitos.

Em função dos trabalhos expostos anteriormente, verifica-se uma preocupação constante dos pesquisadores referentes ao estudo da mente cognoscente na aquisição de conceitos científicos. É neste sentido que se insere o nosso trabalho.

1.2 Reflexões sobre a epistemologia bachelardiana

A filosofia tradicional concebia que a apreensão dos dados provenientes da natureza, feita por meio da observação e da experimentação, era a forma indubitável de se atingir a “*verdade*”. A objetividade seria realmente alcançada na medida em que se mostrasse fiel aos fatos. Assim, a fonte segura do conhecimento seria um contato direto com o *real*. Em outras palavras, as leis que governam o nosso mundo já estariam determinadas *a priori* e seriam simplesmente verificadas e confirmadas pelo sujeito cognoscente.

Sob outro aspecto, Bachelard (2004, p. 15) também argumentou que a *razão* não é a fonte segura para se chegar ao conhecimento científico. Para o autor a visão artística e o sentimento religioso não têm raiz no mundo real. Sendo assim, eles são verdadeiramente válidos, na medida em que aceitam as categorias *a priori* do sujeito. Desta forma, arte e religião caracterizam-se pelo caráter *idealista*, em que a razão e a fé seriam as fontes do conhecimento. Refletindo acerca da ciência e da arte, Paiva (2005, p. 15) argumentou que a arte é fundamentalmente subjetiva e, portanto, isenta de compromissos com a verificação. A ciência pelo contrário, pauta-se por uma lógica, uma metodologia e um esforço de comprovação. Ambas pertencem a esferas filosóficas distintas. Segundo Paiva, as teorias científicas são criações da mente humana e, portanto, são análogas as imaginações artísticas. Sendo assim, a imaginação se infiltra e conquista seu lugar no âmbito do pensamento científico. Nesta perspectiva, o *sujeito* assume uma condição de *criador* do seu próprio conhecimento.

Bachelard (2004, p. 18) observou que se o *dado* não tivesse nenhuma forma, então, nenhum conceito poderia ser formado e a reflexão não teria nenhum poder sobre ele. Inversamente, se o *espírito* não tivesse nenhuma categoria, a função *dado*, não teria nenhum sentido. Nesta perspectiva, a ciência passa a ser o produto de um trabalho com duas facetas: uma *objetiva* e outra *subjetiva*. Este dualismo é à base da *nova filosofia científica*.

Para Japiassu (1976, p. 41) o filósofo não pode ser o homem de uma só doutrina, seja ela: *idealista*, *racionalista*, *realista* ou *positivista*. Criticando o pensamento unitário, Bachelard (1991, p. 7) observa que os *cientistas* desconsideram uma preparação metafísica. Para eles, a filosofia da ciência está somente no *reino dos fatos* ou da *ação*. Por outro lado, os *filósofos* consideram suficiente a *reflexão* sobre o objeto, se posicionando apenas no *reino das idéias*. Assim, o *obstáculo geral* e *obstáculo imediato* se incrustam no pensamento, sendo entraves ao próprio ato de conhecer.

Filósofo e professor de Física e Química, Gaston Bachelard viveu o período de transição entre o século XIX e o século XX, caracterizado pela revolução das ciências físicas. A *mecânica clássica* apoiada sobre a solidez das bases racionais de *tempo* e *espaço absolutos* é abalada pela *teoria da relatividade*. A mecânica quântica e a mecânica ondulatória também revolucionaram paradigmas vigentes e romperam com teorias já instituídas. Destarte, a *ciência contemporânea* propicia um novo olhar sobre o mundo, que representa também um rompimento com esta filosofia tradicional hegemônica. A filosofia de Bachelard é uma clivagem radical entre dois níveis de pensamento. É uma readequação completa na forma dos

métodos de pensar. Para esta filosofia, a verdade provisória não “brota” da *percepção* sobre o mundo, pois ela é *pensada, refletida e construída* pelo ser pensante. As leis da natureza já não podem ser apreendidas por meio dos dados imediatos. Segundo Bachelard (2000, p. 19), “*a observação científica é sempre uma observação polêmica; ela confirma ou infirma uma tese anterior*”. Porém, o objeto científico não está isento da comparação com os dados experimentais, pois se assim fosse, o mundo seria uma mera representação da nossa maneira de pensar.

Em relação ao progresso da ciência, Bachelard defendeu uma epistemologia em que o conhecimento *não* está no *objeto* de investigação, visto que, a *sensação* e a *percepção* são para ele, fontes de *erros*. Contrariamente às filosofias tradicionais, em que o processo do conhecimento é concebido como linear e acumulativo, na epistemologia bachelardiana, o conhecimento se desenvolve por *descontinuidades, rupturas*, por *revoluções* ou por *mutações* bruscas e profundas. Assim, a *teoria da relatividade* rompe com as noções clássicas de *tempo* e *espaço absolutos* (Bachelard, 2000). Por outro lado, Bachelard também criticou o *idealismo*, pois para ele, a verdade também não está puramente na razão, pois carece sempre de um contato com o real, sendo, portanto, passível de verificação.

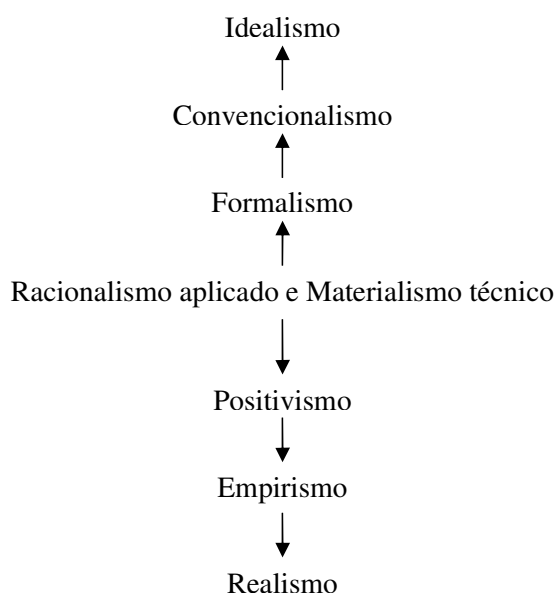
Para Bachelard a ciência tem a necessidade de uma dupla certeza: a primeira é de que o real está em conexão direta com a racionalidade e, a última, de que os argumentos racionais se referem à experiência. É exatamente no centro destas duas filosofias que Bachelard coloca o seu ponto de referência (vide *Quadro 1*). Estas perspectivas o conduzem de um lado, do *racionalismo aplicado* ao *idealismo*; de outro, do *materialismo técnico* ao *realismo ingênuo*. O *Quadro 1* ilustra estes movimentos.

De um lado, ao instituírmos um *formalismo*, os resultados do pensamento racional nos levariam a um conjunto de *convenções*, organizados em linguagem matemática e esta arbitrariedade conduzem ao *idealismo*, que nada mais é, do que uma atividade do sujeito pensante. Este *idealismo* não se engaja com a experiência e perde a possibilidade de explicar o pensamento (BACHELARD, 1977, p. 11-13).

Por outro lado, o *positivismo* não pode justificar o desenvolvimento de teorias modernas e, está prestes a cair no pragmatismo revelado pelo *empirismo*; é só dar um passo além, e atingir-se-á o *realismo*: este acúmulo de fatos e coisas que dá a ilusão da plenitude. Mas, este caminho está desprovido da razão que é à base de um pensamento (BACHELARD, 1977, p. 11-13).

Contrário a esta concepção unitária, Bachelard concebe a ciência como um constructo processual inacabado, no qual se aliam e se alteram reciprocamente *pensamento* e *experiência* (PAIVA, 2005, p. 30). O processo dialético entre *razão* e *experiência* constitui a base da epistemologia bachelardiana, filosofia que ele cunhou sobre o rótulo de *epistemologia não-cartesiana*. A investigação é orientada pelo pensamento teórico e, embora para Bachelard (1991, p. 10) “pensar cientificamente é colocar-se no campo epistemológico intermediário entre *teoria* e *prática*, entre *matemática* e *experiência*”, entre o *empirismo* e o *racionalismo*, ele sobrevaloriza uma das direções de seu pensamento, deixando claro o sentido do vetor epistemológico, que “vai seguramente do *racional* ao *real*” (BACHELARD, 2000, p. 13).

Quadro 1 – Posição do pensamento de Bachelard no ponto central das filosofias contrárias¹⁰



Sem a intenção de querer explicar em suas peculiaridades o termo “*epistemologia não-cartesiana*”, mas, apenas para tornar-lhe mais claro, poderíamos dizer que *Descartes* via o ato de pensar como uma atividade separada do corpo. A partir de uma visão dualística ele separa o *Mundo* do *Espírito*. Para Dagognet (1980, p. 22), “a diligência da dúvida metódica e a conseqüente certeza de um puro *cogito* definem [...] o itinerário de uma abstração infeliz, o erro por excelência que separa o que deve estar unido”. Nesta perspectiva, a *sensação* e a

¹⁰ (BACHELARD, 1977, p. 11); (BACHELARD, 1973, p. 138).

razão pertencem a instâncias distintas. Contrário a esta vertente filosófica, Bachelard defendeu um processo *dialético* intrinsecamente relacionado entre estas duas instâncias. O conceito não pode ser afastado de suas condições experimentais. Para Bachelard (2000, p. 123), “o método cartesiano que acerta tão bem em explicar o mundo, não chega a complicar a experiência, o que é a verdadeira função da pesquisa objetiva”. Neste sentido, Bachelard argumentou que “a base do pensamento objetivo de Descartes é demasiado estreita para explicar os fenômenos” (BACHELARD, 2000, p. 123). Ele esclareceu sua posição filosófica em relação ao método cartesiano:

Assim, falando de uma epistemologia não-cartesiana, não é sobre a condenação das teses da física cartesiana, ou mesmo sobre a condenação do mecanicismo cujo espírito permanecia cartesiano, que pretendemos insistir, mas antes sobre uma condenação da doutrina das naturezas simples e absolutas (BACHELARD, 2000, p. 125).

De acordo com Bachelard (2000, p. 11), a ciência é um produto do espírito humano e possui dois aspectos: um *objetivo*, concebido como parte das leis do nosso mundo; e outro *subjetivo*, um produto conforme as leis do nosso pensamento. Para ele, todo homem em seu esforço de cultura científica apóia-se sobre *duas* metafísicas: o *realismo* e o *racionalismo*. Ambas são *polêmicas, contraditórias*, mas ao mesmo tempo, *complementares*. Para Bachelard, não há *realismo* nem *racionalismo* absolutos, eles trocam conselhos sem fim.

O empirismo precisa ser compreendido; o racionalismo precisa ser aplicado. Um empirismo sem leis claras, sem leis coordenadas sem leis dedutivas não pode ser pensado nem ensinado; um racionalismo sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata não pode convencer plenamente. O valor de uma lei *empírica* prova-se fazendo dela a base de um *raciocínio*. Legitima um *raciocínio* fazendo dele a base de uma *experiência* (BACHELARD, 1991, p. 9).

A *filosofia da ciência* é uma filosofia que se aplica. Os dilemas entre os valores experimentais e os valores racionais dão ao pensamento bachelardiano uma flexibilidade, uma mobilidade, uma pluralidade que confere a esta nova doutrina, um pensamento aberto *contra* a realidade usual e em polêmica *contra* o imediato. Assim, o *racionalismo aplicado* e o *materialismo técnico* são os dois pólos da atividade científica contemporânea. “Se ela *experimenta* é preciso *raciocinar*. Se ela *raciocina* é preciso *experimentar*” (BACHELARD, 2000, p. 13).

Existe uma verdadeira ruptura entre o conhecimento sensível e o conhecimento científico. O *conhecimento novo* diz “*não*” ao *conhecimento antigo* dialetizando seus princípios. Portanto, o pensamento novo projeta uma luz *recorrente* sobre as obscuridades dos

conhecimentos incompletos e o assimila numa verdadeira *extensão*. Esta nova forma de pensar foi denominada por Bachelard de “*A Filosofia do Não*”, pois contradiz a maneira habitual de designar dogmaticamente as noções de base. Porém, Bachelard (2000, p. 13-17) adverte que “este *não* nunca é definitivo para um espírito que sabe dialetizar seus princípios”. Para ele, “*A Filosofia do Não*” surgirá não como uma atitude de recusa, mas como uma atitude de *conciliação*. Segundo Lopes (1996, p. 267), “conciliar não é aceitar qualquer teoria como válida, mas definir muito precisamente o campo de validade e da aplicação de determinada teoria”. Para nos fazermos entender, a mecânica *não-newtoniana* não contradiz a mecânica *newtoniana* como se poderia pensar, mas ela é uma generalização do pensamento newtoniano. Ela envolve a mecânica newtoniana e a complementa. Assim, para baixas velocidades pode-se perfeitamente trabalhar nos dois sistemas. Ou seja, o pensamento *não-newtoniano* é o pensamento *newtoniano* determinado por uma *reorganização do saber numa base alargada*¹¹.

Se tomarmos uma vista geral das relações epistemológicas da ciência contemporânea e da ciência newtoniana, vemos que não há *desenvolvimento* dos antigos pensamentos pelos novos (...) do pensamento não-newtoniano ao pensamento newtoniano não há tampouco *contradição*, há somente *contração* (BACHELARD, 2000, p. 55).

Bachelard (1996) sugeriu que a história fosse dividida em *três* grandes estados ou períodos: i) *estado pré-científico* que compreende o século XVIII e períodos anteriores a ele; ii) *estado científico* que engloba basicamente todo o século XIX, e finalmente; iii), a física

¹¹ Existem visões epistemológicas discordantes da concepção de que as teorias se complementam ou são generalizações de teorias anteriores. Um exemplo é a *Metodologia dos Programas de Pesquisa* de Imre Lakatos (1922-1974) que concebe que a história da ciência está permeada por programas de pesquisas concorrentes, com propostas metodológicas rivais. Explicando resumidamente esta epistemologia podemos dizer que, no interior de um único programa de pesquisa a *heurística negativa* é a exigência de que, durante o desenvolvimento do programa, o *núcleo firme* deve permanecer intacto e sem modificações. O trabalho envolve a expansão e a modificação de seu *cinturão protetor* pela adição e articulação de várias hipóteses. Quando os cientistas se deparam com anomalias, a *heurística positiva* orienta e suplementa as modificações que devem ser feitas no núcleo irreduzível com suposições adicionais numa tentativa de explicar fenômenos previamente conhecidos e prever fenômenos novos. Os programas de pesquisa podem ser *progressivos* ou *degenerescentes*, dependendo do sucesso ou fracasso persistente quando levam à descoberta de fenômenos novos (CHALMERS, 2000 p. 109-22). O processo de superação de um programa por outro é extremamente lento e, durante este tempo é racional se trabalhar em qualquer um dos programas ou até mesmo em ambos (SILVEIRA, 1996, p. 224). Para Chalmers (2000, p. 121) o desenvolvimento da teoria eletromagnética clássica teria sido fortemente prejudicado se a abordagem da *ação a distância* houvesse sido abandonada em detrimento da *teoria de campo*, pois a noção de “elétron” surgiu deste programa de pesquisa (ação a distância). Para ele, a teoria eletromagnética clássica surgiu de uma reconciliação dos dois programas, herdando de um lado, os “campos” e, de outro, os “elétrons”. O abandono de um programa somente poderá acontecer quando houver uma alternativa melhor. Neste sentido, um programa *degenerescente* cederá espaço para um rival mais *progressista*, como a astronomia geocêntrica ptolomaica que cedeu espaço para a teoria heliocêntrica copernicana (CHALMES, 2000, p. 119). Apesar de tudo que foi exposto, queremos deixar claro que estamos fundamentando o nosso trabalho no referencial epistemológico de Gaston Bachelard.

contemporânea do século XX que ele denominou *o novo espírito científico*. Aqui, iremos estudar apenas os dois primeiros períodos: o *estado pré-científico*, que se constitui como eminentemente *concreto*, caracterizado predominantemente pelo *empirismo* e pelo *realismo ingênuo* que são fontes dos mais variados obstáculos epistemológicos, e o *estado científico*, caracterizado como *abstrato-concreto*, ou seja, que ainda apóia-se sobre o real, mas que já mostra alguns sinais de abstração.

Para advogarmos sobre o nosso *referencial teórico* somos obrigados a justificar que, embora a epistemologia de Bachelard esteja situada precisamente no viés da ciência contemporânea, ela nos fornece subsídios para estudar o *estado pré-científico* da eletricidade e do magnetismo no período que antecede a descoberta do eletromagnetismo, caracterizado pelos obstáculos epistemológicos e; trabalhar o *estado científico* do século XIX, período em que a razão foi fundamental para as interpretações relacionadas aos fenômenos eletromagnéticos. Além disso, vamos aplicar a noção de perfil epistemológico ao considerarmos estes dois períodos como duas regiões hierárquicas de pensamento: o *empirismo* e o *racionalismo*.

Neste trabalho discutiremos os problemas de aprendizagem em sala de aula. Para isto, utilizaremos o conceito de *recorrência histórica* bachelardiana que consiste em: olhar para o passado sob a luz do presente, com um objetivo específico: analisar os *erros* do passado em busca da verdade. Para sermos mais claros, no que tange a formação do conceito, verificaremos as dificuldades na sua elaboração e os estágios de desenvolvimento do eletromagnetismo no processo histórico. Em nível pedagógico, procuramos resgatar as concepções dos alunos, relacionando-as com representações das diferentes formas de pensar ao longo do tempo. Para apreciar e compreender o valor de um pensamento é necessário regressar ao passado das idéias, pois todo conhecimento é sempre uma *referência a um domínio antecedente* e o sujeito cognoscente tem que ter um passado (BACHELARD, 2004, p. 245).

Procuraremos mostrar que, na medida em que nos aprofundamos na compreensão do conceito, há uma passagem gradativa das características *concretas* para uma *abstração* crescente que culminam nos modelos teóricos mais recentes. Desta forma, analisaremos o desenvolvimento histórico na formação dos conceitos científicos, investigando e categorizando o perfil epistemológico dos alunos, buscando identificar os principais obstáculos *ontológicos* e *epistemológicos* e, com isso, perceber os diferentes patamares ou gradações na formação dos conceitos relacionados ao nosso estudo.

1.3 O conhecimento científico: o *objeto*¹² para nós e a *coisa*¹³ em si

Nas primeiras concepções científicas, as quais foram fortemente caracterizadas pelo *realismo ingênuo*, o conhecimento do objeto possuía uma característica de senso comum em que os dados eram apreendidos por meio da *percepção*. O conhecimento do real era qualitativo e subjetivo e, portanto, repleto de *erros*. Os estudiosos mais prudentes e minuciosos da época não podiam conceber que se aumentasse a percepção do mundo para além dos nossos limites naturais. Dito de outro modo, o conhecimento era estritamente real, ou seja, aquilo que podia ser visualizado somente no limite de nossa acuidade visual. Contudo, com o advento dos sistemas de medidas e dos instrumentos científicos o conhecimento adquire características mais precisas. A experimentação é utilizada para conhecer e estudar o objeto. A fidelidade da medida está diretamente relacionada com a precisão do instrumento. No caso do sistema métrico, podemos concordar com Bachelard e dizer que, para deslocar de um centímetro um objeto colocado sobre a mesa é uma coisa simples; deslocá-lo de um milímetro exige um controle maior do estímulo para provocar a mudança. Porém, isto é conseguido depois de alguns fracassos. Mas este deslocamento não é uma operação científica. Agora para deslocar um objeto de um décimo de milímetro é preciso de um aparelho. Se prosseguirmos até as decimais seguintes, precisaremos não apenas de aparelhos, mas sim, de uma teoria (BACHELARD, 1996, p. 296). Em relação à determinação da massa de um objeto, a medida grosseira deixa de existir com o advento da balança e “não é a mesma coisa enganar-se em um miligrama quando se trata de cem gramas ou de um quilograma” (BACHELARD, 2004, p. 79). De fato, no segundo caso o *erro* relativo é menor que no primeiro.

Analogamente, nossa visão possui um limite de alcance. Para ampliar este limite foi necessário empregar uma técnica e, por conseguinte, desenvolver uma teoria. Para que pudéssemos observar o macro-objeto e o micro-objeto foram inventados os instrumentos. O

¹² *Objeto*: (1) Em sentido geral é o que está perante nós; o que nós consideramos; o que temos em vista; (2) aquilo que nos é apresentado na percepção exterior com um caráter fixo e estável, independente do ponto de vista dos desejos ou das opiniões do sujeito; (3) aquilo que possui uma existência em si, independente do conhecimento ou da idéia que os seres pensantes disso possam ter (LALANDE, 1999, p. 754).

¹³ *Coisa*: (1) A linguagem corrente designa por esta palavra, o que pode ser pensado, suposto, afirmado ou pensado; (2) Em relação à teoria do conhecimento, em seu sentido metafísico, o termo “*coisa em si*” significa aquilo que subsiste em si mesmo sem pressupor outra coisa. É assim que Kant raciocina freqüentemente partindo desta hipótese: *Se os fenômenos fossem coisas em si...*, querendo dizer com isso: se os fenômenos fossem qualquer coisa que subsistisse fora da minha representação (como o realismo ingênuo o imagina). (LALANDE, 1999, p. 167).

desenvolvimento de aparelhos ópticos, como o telescópio e o microscópio, propiciou uma *ruptura* de escala. Assim, podemos conhecer o universo e o micro-mundo. No entanto, para Bachelard (1996, p. 296) “é preciso compreender que o microscópio é um prolongamento mais do espírito que do olho”. Se o observador não tiver o cuidado de fugir dos hábitos adquiridos na ordem de grandeza da vida comum, arrisca-se a incorrer em *erros* (BACHELARD, 2004, p. 255). “Com efeito, para além de um limite, o instrumento já não pode dar mais nada, quer se trate do microscópio, da balança ou do termômetro” (DAGOGNET, 1980, p. 19). Se caminhamos em direção ao infinitamente pequeno, o determinismo se obscurece, pois sua verificação se torna cada vez mais ilusória. Bem antes da invenção do forno de microondas, Bachelard (2004, p. 293) já dizia que “para comandar de fora uma molécula e fazê-la vibrar, é preciso dar-lhe ordens de acordo com seu próprio ritmo”. Portanto, “diante de um real que não se vê e que não se toca, mas sobre o qual se fazem experiências que, do ponto de vista sensível, são manifestamente indiretas; não se poderia fechar a via das teorias racionais, sob pena de mutilar a própria experiência” (BACHELARD, 1977, p. 46). Desta forma, vemos o racionalismo ser *aplicado* à ciência.

Bachelard enfatizava que “no interior do átomo devem reinar leis de natureza desconhecida e que diferem essencialmente de tudo o que conhecemos até o momento” (BACHELARD, 2004, p. 110). A ciência contemporânea corrobora as previsões de Bachelard. Atualmente se conhecem partículas subatômicas regidas por leis diferentes das propostas pela mecânica clássica. A mudança de um conhecimento particular caminha para a coerência racional (BACHELARD, 1991, p. 21). Para Bachelard (2004, p. 299) o conhecimento possui um caráter *inacabado* e ele ressalta o poder do pensamento teórico:

No momento em que sentíssemos com clareza que nosso conhecimento do real é suscetível de uma retificação indefinida, no ritmo de uma aproximação matemática, estaríamos bem perto de designar a *coisa em si*. Veríamos seu lugar sua função. Em torno dessa *coisa em si*, fina e pura como um número poderíamos seguir as oscilações amortecidas do *idealismo*. (*Grifo nosso*).

A primeira sensação, de fato, nunca é verdadeira. Depois de *retificada*, ela dá lugar a uma percepção mais elaborada. Esta nova forma de conhecer difere sensivelmente da anterior. Dispondo de técnicas mais apropriadas podemos nos aproximar mais, a fim de, conhecer a essência do objeto. No entanto, este processo parece ser limitado experimentalmente. Bachelard (2004, p. 273) adverte que “sob esta forma, a definição do *Real* nunca será perfeita, nunca estará concluída. Mas será tanto melhor quanto mais diversas e minuciosas forem as

verificações”. Porém, “estabelecer os limites do conhecimento científico, alegando que não se pode conhecer a essência da vida, do espírito, da matéria”, imagine então conhecer “o que são a eletricidade ‘*em si*’, a luz ‘*em si*’, a matéria ‘*em si*’, ou a vida ‘*em si*’” (JAPIASSU, 1976, p. 38). Segundo Japiassu (1976, p. 38), “a fronteira científica não é um limite, mas uma zona de pensamentos ativos e um domínio de assimilação”. Nos dizeres de Bachelard:

No entanto, por mais imperfeita que seja nossa tarefa de aprofundamento experimental, convém reconhecer que aí está uma direção com certa fecundidade filosófica. Mesmo que nessa via o pensamento não chegue à *objetividade*, é inegável que a primeira tentativa de limitar a subjetividade consiste num retorno à percepção, numa *retificação* (BACHELARD, 2004, p. 299).

Bachelard ressalta a importância dos conhecimentos antigos para formação de um pensamento ulterior, mas deixa clara a necessidade de *retificar* o âmbito deste pensamento incompleto.

É claro que limitar o subjetivo não é o mesmo que eliminá-lo, mas ao referir o pensamento a si mesmo, como sempre deve fazer o filósofo, se obtivermos uma modificação progressiva do pensamento, podemos esperar que essa modificação se faça em proveito da precisão e que a primeira coisa a desaparecer sejam as características aberrantes e ocasionais do pensamento (BACHELARD, 2004, p. 299).

Para Bachelard (1996, p. 17) “o ato de conhecer dá-se *contra* um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que no próprio espírito é *obstáculo* à espiritualização”. Diante da complexidade de chegar à *coisa em si*, temos que nos contentar com aproximações e com as retificações dos conceitos. A imaginação tem o papel de criação na ciência e a experimentação limita esta criação, uma vez que, a ciência tem que dizer algo sobre as leis de nosso mundo. Assim, para cada teoria criada e limitada pelo experimento avançamos com nosso conhecimento para o objeto estudado. Cada novo avanço, nada mais é que a *retificação* do passo anterior.

Cremos que uma das temíveis objeções para as teses *idealistas* é a existência inegável de um *erro* que não pode, por natureza, ser totalmente eliminado e que nos obriga a contentarmos com *aproximações* (BACHELARD, 2004, p. 16).

1.4 A noção de obstáculos epistemológicos

Bachelard dedica o livro “*A formação do espírito científico*” para refletir acerca dos *obstáculos epistemológicos*. Este termo, como o próprio nome sugere, representa um entrave ao conhecimento científico. São espécies de retardos e contra-pensamentos que dificultam o avanço científico. Do ponto de vista pedagógico, já salientamos que eles são análogos às *concepções alternativas* apresentada pelos estudantes. Assim, para Bachelard (1996, p. 17) é “no próprio âmago do ato de conhecer que aparecem lentidões e conflitos” que constituem a essência destes obstáculos e que são as “causas de estagnação e até de regressão do pensamento”. Os obstáculos caracterizam-se pela resistência do pensamento ao próprio ato de pensar. Estes obstáculos podem ser concebidos como resíduos de conceitos anteriores, relevantes no passado. Sendo assim, eles tendem a bloquear a aquisição de novos conceitos.

Japiassu (1976, p. 74) relatou que Bachelard considerava o cérebro humano como um órgão *inacabado* e em contínua formação e não *desocupado* como postulavam as antigas pedagogias. Assim, a mente cognocente não é uma “*tábula rasa*”, mas sim, constituída de conhecimentos prévios. Bachelard (1996) esclareceu que “o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos” e cabe ao ensino “derrubar os obstáculos sedimentados pela vida cotidiana”. Assim, não se trata de “adquirir uma cultura experimental”, mas sim, de mudar a própria cultura. Para o autor, “o espírito deve se formar *contra* a natureza, contra o que é, em nós e fora de nós”, ou seja, deve lutar contra a nossa própria tendência de estagnação e contra a idéia de que o conhecimento científico é algo natural e fácil. Pelo contrário, a verdade é “filha da discussão” e não da “simpatia” (BACHELARD, 1991, p. 125). Portanto, o instinto humano deve ser *formativo* e não *conservativo*.

As intuições e as sensações que o sujeito possui são as principais causas deste estado de imobilismo cognitivo. A sensação térmica, a percepção das cores, o paladar, são exemplos de características dos sentidos peculiares a cada indivíduo. O autor adverte que, “a opinião deve antes de tudo ser destruída”, pois o *espírito científico* só pode constituir destruindo o *espírito pré-científico*. Também, considerar que o caminho para a *objetividade* está nos dados “colhidos” da natureza, nos dados claros, nítidos e absolutos, é desconsiderar o verdadeiro caráter do *espírito científico*. Para Bachelard (1996, p. 18) o conhecimento científico é sempre a resposta a um problema formulado. Há sempre uma hipótese que guia nossa investigação e “se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. *Tudo é construído*”.

Por tudo isto, Bachelard se demonstrou um professor a frente do seu tempo. Suas idéias pedagógicas eram contrárias a uma escola *dogmática e autoritária*, que privilegia o poder em relação ao saber. Para ele, o mestre também aprende à medida que ensina e o aluno compreende aquilo que está aprendendo na medida em que explica. A finalidade do ensino consiste em despertar, estimular, provocar e questionar o aprendiz e colocar o espírito “em estado de *mobilização* permanente, substituir um saber fechado e estático por um conhecimento *aberto e dinâmico*” (BACHELARD, 1996, p. 24). O autor defendeu que o ensino de ciências tem que ser totalmente reformado:

O ensino de ciências tem de ser todo revisto; que as sociedades modernas não parecem ter integrado a ciência na cultura geral. A desculpa dada é que a ciência é difícil e que as ciências se especializam. Mas, quanto mais difícil é uma obra, mais educativa [ela] será (BACHELARD, 1996, p. 309).

Dentre as categorias de obstáculos elencadas por Bachelard, apresentaremos aqui somente aquelas que julgamos fundamentais para este trabalho de pesquisa. São elas: *a experiência primeira*, *o conhecimento geral*, *o obstáculo verbal*, e também, *os obstáculos substancialista e animista*. Na seqüência, descrevemos resumidamente cada categoria de obstáculo:

- *A experiência primeira*

A observação primeira, pitoresca, sedutora e fácil, colocada antes e acima da crítica, representa um obstáculo para o conhecimento científico. Bachelard relata que o encanto provocado pela eletricidade do século XVIII despertava tanto interesse que a essência dos fenômenos não era compreendida. Os choques elétricos provocados pelas garrafas de Leiden eram apresentados como um espetáculo de curiosidades, um verdadeiro “show” de salão. O autor lembra que nas aulas de química, as explosões representavam um falso centro de interesse. O aluno fascinado pelas imagens, não apreende o verdadeiro significado da reação química. De acordo com Bachelard (1996, p. 36), “o fato de oferecer uma satisfação imediata à curiosidade, de multiplicar as ocasiões de curiosidade, em vez de benefício pode ser um *obstáculo* para a cultura científica. Substituem-se o conhecimento pela admiração, as idéias pelas imagens”. Para o autor “é tão agradável para a preguiça intelectual limitar-se ao empirismo (...)” (BACHELARD, 1996, p. 37). Bachelard não é contra o *empirismo*, mas sim, a favor de uma atitude *polêmica* entre *razão e experiência* que mobiliza o pensamento.

- *O conhecimento geral*

O conhecimento geral é um conhecimento vago que se caracteriza por uma generalização apressada e fácil daquilo que se julga conhecer e que é capaz de estancar a *reflexão*. O *espírito pré-científico* utiliza uma *lei geral* para explicar o fenômeno e acaba não esclarecendo absolutamente nada. A ciência do geral é uma suspensão da experiência, um fracasso do empirismo inventivo. O *conhecimento geral* cala a pergunta, antes mesmo que ela seja feita. (BACHELARD, 1996, p. 69). Ele confirma hipóteses imediatas e desabilita a razão. Segundo Santos (1998, p. 139) “todas as investigações ulteriores passam a ser interpretadas através de um mesmo quadro de referência”.

- *Obstáculo verbal*

O obstáculo verbal caracteriza-se pela falsa explicação obtida à custa de uma *palavra explicativa* (BACHELARD, 1996, p. 27). A palavra sugere uma explicação tão clara e tão distinta a ponto de ocultar o seu verdadeiro sentido. Esta imagem generalizada prejudica a razão e impede a visão abstrata dos verdadeiros problemas científicos.

Bachelard relata que a palavra *esponja*, utilizada em analogia à eletricidade estática, caracterizou-se por uma *palavra-obstáculo* ao desenvolvimento da eletricidade do século XVIII. A idéia de conter poros capazes de funcionar como um mata-borrão absorvendo a matéria elétrica impediu o avanço desta ciência. Na mentalidade pré-científica, a analogia hidráulica entra *antes* mesmo da teoria.

Bachelard (1996, p. 101) é cauteloso quanto ao uso de *metáforas* na ciência e no ensino, pois para ele “o perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras”. O ensino deve se atentar para a utilização de metáforas, suprimindo aquelas existentes na mente do aluno. Para Bachelard (1996, p. 97) “uma psicanálise do conhecimento objetivo deve, pois tentar diluir, senão apagar, essas imagens ingênuas”.

- *Obstáculo substancialista*

A idéia de obstáculo substancialista caracteriza-se por atribuir as propriedades de um objeto ou do fenômeno estudado aos atributos pertencentes a uma determinada substância. Bachelard (1996, p. 121) considera este obstáculo como um *erro* inicial ao aprendizado, na medida em 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”. Assim, o fenômeno evidente se encontra associado a uma falsa substância oculta.

O fenômeno da atração elétrica, no qual corpos leves eram atraídos por corpos eletrizados, foi atribuído a uma substância “viscosa, untuosa e tenaz”. O bastão de âmbar eletrizado é comparado a um dedo lambuzado com cola (BACHELARD, 1996, p. 128).

- *Obstáculo animista, mito da digestão e a libido*

Embora Bachelard trate estes obstáculos de maneiras distintas, preferimos agrupá-los em uma categoria comum, pois a digestão e a libido estão, a nosso ver, implícitas no obstáculo animista.

O obstáculo animista concede ao corpo humano ou a fenômenos vitais, propriedades explicativas sobre um dado fenômeno. “O obstáculo animista traduz-se numa tendência para, de um modo ingênuo, animar, atribuir vida e, muitas vezes, propriedades antropomórficas a objetos inanimados” (SANTOS, 1998, p.143). Concepções como vida, doença, alimento, características sexuais, etc., podem ser exemplos de *obstáculos* ao conhecimento. Por exemplo, se cortarmos um ímã transversal ou longitudinalmente ao seu eixo, ele *sobrevive*, pois cada nova parte torna-se um novo ímã; a ferrugem é uma *doença* na qual o ferro está sujeito; o oxigênio é o *alimento* do fogo; a bateria elétrica *alimenta* o circuito elétrico; o ímã possui pólos *macho* e *fêmea*, ou seja, norte e sul respectivamente; ou a bateria elétrica possui terminais *macho* e *fêmea*, ou seja, positivo e negativo, respectivamente.

Todos estes obstáculos impedem a objetividade científica e o espírito científico deve lutar *contra* estes obstáculos. Veremos com mais detalhes estes obstáculos ao estudarmos na seção seguinte, a história da eletricidade.

1.5 A história da eletricidade sob a óptica de Bachelard

Os fenômenos naturais sempre representaram grandes mistérios à humanidade. Os povos antigos sentiam-se apavorados em dias tempestuosos, uma vez que desconheciam as verdadeiras causas do raio e do trovão. O espírito pré-científico não sabia que quando o trovão ressoa o perigo já passou. Somente o raio pode matar! Hoje em dia, o medo do trovão está totalmente dominado porque sua doutrina está *racionalizada*. Atualmente, sabe-se que o raio está relacionado à descarga elétrica entre nuvens ou entre as nuvens e o solo.

Antigamente a explicação dos povos primitivos para a atração entre um bastão de âmbar e objetos leves, como palhas ou cascas de sementes, era atribuída a uma emanção viscosa que saía do corpo atritado e ia apanhando pequenos corpos pelo caminho. No início do século XVIII, este fenômeno foi atribuído a eletricidade.

Mais tarde, surgiram as máquinas de fricção, que elevavam o potencial elétrico consideravelmente e, que eram capazes de provocar choques elétricos. Garrafas de Leiden podiam reter este potencial elétrico. A eletricidade provocou um grande fascínio no *espírito pré-científico* ao ser apresentada como um espetáculo de curiosidade às pessoas. As pessoas davam-se as mãos para receberem a descarga de uma garrafa de Leiden. Experiências como às do garoto¹⁴ e do beijo elétrico¹⁵ eram presenciadas pelas personalidades mais importantes da época num verdadeiro “show” de salão.

Bachelard (1996, p. 128-130) escreveu que observar a ação mecânica extrínseca, em relação às leis elétricas ocultas, de corpos serem atraídos e mantidos unidos a corpos, em contradição com os princípios da gravitação, é uma experiência fechada em si. É um verdadeiro *obstáculo*. Esta imagem imediata abafa todas as perguntas e, o espírito atribui ao fluido elétrico a qualidade de uma substância viscosa, untuosa e tenaz. É como se o corpo que atraí estivesse lambuzado com cola.

As propriedades da eletricidade, durante um determinado período, foram atribuídas a certas substâncias. A eletricidade *vítrea* e *resinosa* foi atribuída por François Du Fay a determinados objetos empíricos como o vidro e a resina, respectivamente. Por esta concepção, o vidro só adquiria a eletricidade *vítrea* e o âmbar somente a *resinosa*. John Canton reconheceu que um bastão de vidro também podia adquirir a eletricidade *resinosa* quando era friccionado com a flanela e, a eletricidade *vítrea* ao ser esfregado a um pano de seda (BACHELARD, 1977, p. 167). Assim, verificou-se que o tipo de eletricidade não dependia

¹⁴ Stephen Gray pendurou um garoto em linhas de seda para demonstrar que a atração elétrica, somente ocorre se o corpo eletrizado e o objeto a ser atraído estiverem em *potenciais* (em sentido moderno) distintos.

¹⁵ Dois experimentadores montados no banquinho isolado fechavam a corrente com os lábios. No momento da descarga da garrafa de Leiden, a eletricidade valorizava o beijo dando-lhe atração e calor. Reciprocamente, o beijo valorizava a ciência elétrica (BACHELARD, 1996, p. 248)

apenas do corpo atritado, mas também do tecido com o qual ele era friccionado. A eletricidade *vítrea* e *resinosa* (teoria das duas eletricidades) teve que ser revista ao se verificar que o vidro também adquiria eletricidade *resinosa*, ou que a resina poderia apresentar a eletricidade *vítrea*.

Sabe-se que todos os corpos são eletrizáveis, no entanto foi difícil notar que “a eletricidade não se manifestava em metais friccionados, porque a eletricidade produzida escoava para o solo pela mão do experimentador. Bastava usar luvas isolantes para que a eletricidade aparecesse no metal” (BACHELARD, 1977, p. 168). Foi o fato de a eletricidade escoar pelo barbante e não pela seda em um experimento realizado ao longo de uma galeria, que fez com que Stephen Gray verificasse a existência dos materiais condutores e isolantes.

A teoria do fluido único, proposta por Benjamin Franklin foi comparada, por analogia, a uma *esponja*. Este objeto simples pode estar seco ou encharcado, ou seja, com falta ou excesso de fluido, respectivamente; ou neutro, caso a quantidade de água esteja ocupando exatamente os espaços destinados ao ar. Neste sentido, um corpo pode se apresentar carregado positivamente, quando a quantidade de fluido elétrico está em excesso, ou negativamente, quando o corpo estiver com falta de fluido. No caso de equilíbrio, o corpo é considerado neutro. Para Bachelard, (1996, p. 93) “o acúmulo de imagens prejudica evidentemente a razão”. O autor argumenta que “o lado concreto apresentado sem prudência, impede a visão abstrata e nítida dos problemas reais”.

A teoria das eletricidades positiva e negativa¹⁶ originou-se das observações feitas por Symmer relacionadas às suas próprias meias (HEILBRON, 1976). Em Bachelard (1996, p. 273) encontramos que “(...) depois de haver feito muitas observações para determinar de que circunstâncias dependiam esses tipos de aparências elétricas, achou enfim, que era a combinação do branco com o preto que produzia esta eletricidade”. Hoje aceitamos a teoria das duas eletricidades (positiva e negativa), porém, podemos notar que houve alguns obstáculos que impediram o avanço destas ciências. Vale à pena notar que, o princípio geral baseado apenas na experiência não é a fonte segura da verdade.

O condensador elétrico (garrafa de Leiden) foi confundido, por analogia, com uma garrafa comum capaz de conter um fluido comum. No entanto, ela só conserva a eletricidade em função das armaduras metálicas (BACHELARD, 1977, p. 172). Neste sentido, Bachelard (1996, p. 48) alerta que “o espírito científico deve lutar sempre contra as imagens, contra as

¹⁶ Esta teoria sugere que um corpo positivamente carregado possui predominância de um tipo de eletricidade, e um corpo negativamente carregado uma predominância de outro tipo, enquanto que, um corpo neutro os efeitos dos dois fluidos se apresentam balanceados.

analogias, contra as metáforas”. Posteriormente, suas propriedades foram racionalizadas e, se pôde concluir que, o que influencia na capacidade de armazenar energia elétrica é a espessura do vidro, pois quanto mais próximas estiverem as folhas metálicas, maior é a capacidade de armazenamento. O mesmo acontece se o vidro for substituído por um material com poder dielétrico superior.

“Na ciência natural da eletricidade do século XVIII, atribui-se precisamente a uma equivalência substancial a três princípios: fogo, eletricidade e luz” (BACHELARD, 1973, p. 57). “Em outros termos a eletricidade é tomada nos caracteres evidentes da centelha elétrica: a eletricidade é *fogo e luz*” (BACHELARD, 1977, p. 126). Desta maneira, o *espírito pré-científico* pode inferir que “se o bastão de resina lança centelhas ao mínimo atrito, é porque está cheio de fogo”. “E essas centelhas não são apenas luz fria; são quentes”. “A exploração direta das primeiras observações, exploração orientada por intuições substancialistas, exigiria apenas que se trouxesse *alimento* a essa eletricidade fogo-luz” (BACHELARD, 1977, p. 57). Isto é exatamente que faz a técnica de iluminação do lampião: a combustão precisa do comburente.

Para Bachelard (1977, p. 125), a lâmpada elétrica de fio incandescente rompe com esta técnica. A técnica antiga é de combustão. A técnica nova é de não-combustão. A técnica da não-combustão consiste em impedir que certo material se queime. “Escolhe-se o fio mais fino, o menos fundível, fecha-o num espaço sem ar” (DAGOGNET, 1980, p. 18). “A ampola não é feita para impedir a lâmpada de ser agitada por correntes de ar. Ela é feita para conservar o vácuo em volta do filamento. A lâmpada elétrica não tem, absolutamente, qualquer coisa em comum com a lâmpada antiga” (BACHELARD, 1977, p. 125). “O fogo morre, mas, através do seu projeto de negatividade, a lâmpada continua” (DAGOGNET, 1980, p. 18). Bachelard (1977, p. 125) acrescenta que, “a única coisa que permite designar as duas lâmpadas pelo mesmo termo, é que, ambas iluminam o quarto quando desce a noite”. Bachelard mostra a *ruptura entre o pensamento novo e o pensamento antigo*. Há um corte epistemológico entre a técnica da combustão e da não-combustão. Analogamente, a lâmpada fluorescente rompe com a iluminação incandescente, pois neste caso, a luz emitida é fruto da emissão de fótons que ocorre quando os elétrons acelerados se chocam com o gás inerte presente no interior da ampola.

Podemos exemplificar outras técnicas distintas para uma dada utilidade. A reprodução de imagens (estática ou em movimento) era feita, inicialmente, por meio da projeção da luz. Em seguida, com o sistema de gravação magnética foi possível não só

reproduzir, mas também armazenar estas imagens. Recentemente, podemos reproduzi-las e gravá-las por meio de “compact disc – CD”. Fontes de laser e detectores são responsáveis por transcodificar o sinal; um feixe de laser é utilizado e não há contato mecânico entre os elementos do circuito. Atualmente, temos a gravação de áudio e vídeo digital sendo feita por meio de “chips” que armazenam estas informações nos “pen-drivers” ou “cartões de memórias”. Neste sentido, a ciência contemporânea *se aplica* rompendo com as técnicas anteriores.

Vendo as revoluções acontecerem Bachelard (1996, 306) dizia na primeira metade do século XX que “o elétron existia antes do homem do século XX. Mas, antes do homem do século XX o elétron não cantava”. E o autor prosseguiu dizendo: “[...] esse *ser mudo* nos deu o telefone. O mesmo *ser invisível* vai nos dar a televisão”.

1.6 A noção de *perfil epistemológico*

Uma simples posição filosófica não é suficiente para descrever as diferentes formas de raciocínio quando se tenta explicar um conceito. Em outras palavras, as profundas transformações que a ciência sofreu no decorrer do processo evolutivo trouxeram como conseqüências um *pluralismo filosófico*. Martins (2004, p. 26) observou que Bachelard “estrutura o progresso epistemológico da ciência, defendendo que existem certas ‘fases’ que se sucedem ao longo da evolução filosófica de um conhecimento particular” e, que elas caminham *hierarquizadas* para uma maior coerência racional. Assim, para estudarmos os diferentes níveis conceituais que um conceito apresentou durante sua história e, para investigarmos as diferentes formas de pensar que as pessoas, no *contexto* escolar, vêem e representam a realidade a sua volta, nós utilizamos aquilo que Bachelard (1991) denominou de “*perfil epistemológico*”. O perfil epistemológico é um esboço que representa as diversas filosofias na obra do conhecimento, pois sob uma única doutrina filosófica não é possível descrever todas as diferentes formas de pensar, uma vez que, as filosofias são incompletas por estarem apoiadas em um único aspecto e por iluminar apenas uma das faces do conceito (MORTIMER, 2000, p. 68). Assim sendo, acreditamos que a noção de perfil epistemológico seja apropriada para compreendermos o processo histórico e descrevermos o processo de ensino, uma vez que, a representação do perfil é composta por zonas relacionadas às perspectivas filosóficas específicas. Em síntese, o perfil epistemológico se presta ao estudo da maturidade filosófica de um único conceito. No campo pedagógico, o perfil epistemológico

serve para representar os *diversos pensamentos* na psicologia do espírito, sendo válido para examinar o estágio particular da cultura do indivíduo.

A *Figura 2* representa um esboço de um perfil epistemológico genérico, composto por cinco regiões ou zonas. No eixo das *abscissas*, encontram-se dispostos as diferentes zonas do perfil. No eixo das *ordenadas*, a altura corresponde ao “status” que cada zona apresenta referente ao conceito, ou seja, o quão intenso ela representa para uma dada filosofia.

Podemos observar que à medida que se percorre ao longo do perfil epistemológico, o referido conceito que antes possuía uma característica empírica se torna agora mais complexo e racional. Mortimer (2000, p. 128) sugere que, as primeiras zonas do perfil, como por exemplo, o *realismo ingênuo* e o *empirismo*, se configuram como obstáculos de natureza *ontológica*, uma vez que sua superação envolve as pré-concepções, ou seja, refere-se a um conhecimento básico relacionado ao objeto em estudo. As demais zonas do perfil, *racionalismo clássico*, *completo* e *discursivo*, correspondem a um obstáculo de natureza epistemológica, pois está relacionado diretamente à ausência de um modelo teórico apropriado.

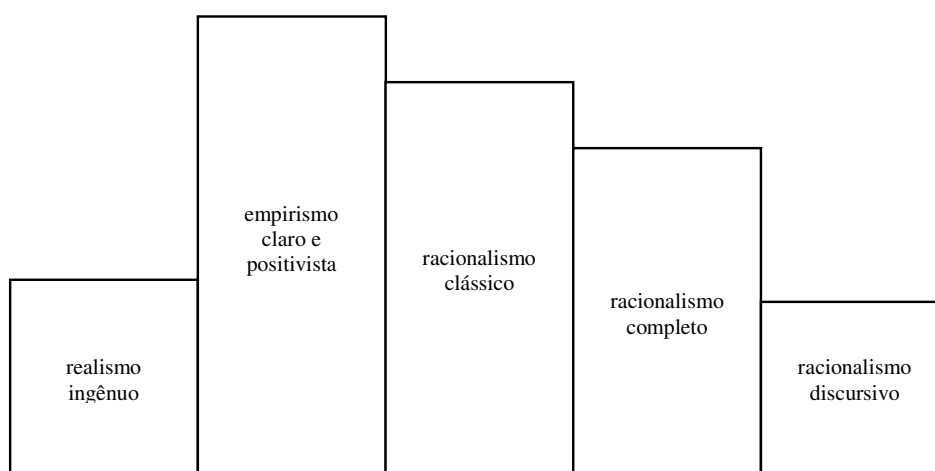


Figura 2 - Exemplo de *perfil epistemológico* para um conceito genérico

A altura de cada zona do perfil corresponde à extensão na qual essa “maneira de ver” está presente no pensamento do indivíduo. Quanto maior é uma determinada zona, mais intensa é essa característica no perfil como um todo. No entanto, é preciso cuidado ao se

interpretar essa forma de representação, pois a altura de cada setor é uma aproximação qualitativa grosseira. (MORTIMER, 2000, p. 75-7).

O termo *perfil conceitual* sugerido por Mortimer (2000) expressa a possibilidade de se usar diferentes formas de pensamento em diferentes domínios, adicionando elementos a proposta inicial bachelardiana. Desta forma, o perfil depende do *contexto*, pois é influenciado pelas experiências de cada indivíduo; e dependente também do *conteúdo*, pois existe uma representação distinta para cada conceito. Martins (2004, p. 46) aponta dois aspectos que, segundo Mortimer, poderiam justificar esta distinção entre os termos “*epistemológico*” e “*conceitual*”: O primeiro seria diferenciar características ontológicas e epistemológicas de cada perfil, já que estas duas características do conceito podem mudar à medida que se mova através do perfil. Outra característica importante da noção de perfil conceitual defendida por Mortimer é que seus níveis pré-científicos não seriam determinados por escolas filosóficas de pensamento, mas sim, por compromissos *epistemológicos* e *ontológicos* dos próprios indivíduos, fortemente influenciados pela sua cultura. “Embora cada sujeito apresente um perfil diferente para cada conceito, as categorias que caracterizam as diferentes zonas do *perfil conceitual* são independentes do *contexto*, sendo as mesmas dentro da mesma cultura”. O autor é contrário a distinção feita por Mortimer e argumenta que embora Bachelard tenha denominado o termo de perfil epistemológico, não há dúvida que, Bachelard em seu livro “*A Filosofia do Não*” já preconizava as diferenças ontológicas entre as várias regiões do perfil e, ele poderia muito bem ter “batizado” o termo de perfil *onto-epistemológico*¹⁷.

O conhecimento se constitui a partir das relações que o sujeito estabelece com o *contexto* em que se insere e por meio das experiências vivenciadas. Visto que existem diferentes formas de ser, pensar e internalizar os saberes; as formas de aquisição e a formação dos conceitos possuem uma individualidade peculiar para cada aprendiz.

Ao explicitar o seu próprio perfil epistemológico referente ao conceito de massa Bachelard utilizou os cinco estágios do pensamento. A saber: *realismo ingênuo*, *empirismo claro e positivista*, *racionalismo clássico da mecânica racional*, *racionalismo completo (relatividade)* e *racionalismo discursivo*.

Para ilustrar, vamos sintetizar como seria esta análise para o conceito de massa nestes níveis cognitivos. No *realismo ingênuo*, o conceito de massa se encontra associado ao

¹⁷ Concordamos com Martins (2007, p. 61) que ressalta que o termo *perfil epistemológico* “tem além da vantagem de manter o vínculo mais estreito com o referencial bachelardiano, o potencial de explicitar de imediato o que está efetivamente em jogo: *compromissos* e *obstáculos epistemológicos*”. Por este motivo, utilizaremos o termo: *perfil epistemológico* ao invés de *perfil conceitual*.

volume do objeto. Geralmente a criança possui a concepção de que o objeto maior possui uma quantidade de massa maior. No *empirismo*, a massa se relaciona a utilização pragmática, precisa e segura do instrumento, no caso, a *balança*¹⁸. No *racionalismo simples* o conceito está associado à massa newtoniana que é definida com referência a outras noções (quociente da força pela aceleração). A massa newtoniana considerada absoluta sofre no racionalismo uma *abertura*. A massa einsteniana passa a ser função da velocidade do corpo. Finalmente, no *racionalismo discursivo* o conceito mássico negativo da mecânica de Dirac rompe definitivamente com as filosofias anteriores. Os níveis, regiões ou zonas referentes ao perfil epistemológico podem ser definidos basicamente como:

- *O realismo ingênuo*

O realismo ingênuo se refere à primeira visão do objeto, o primeiro conhecimento. Ele pode ser entendido como o pensamento de *senso comum* apegado às metáforas da vida cotidiana. Neste estágio a noção torna-se um *conceito-obstáculo* que bloqueia o próprio pensamento.

- *O empirismo*

Trata-se de um conhecimento pragmático. O conceito pode ser formulado baseado em experiências simples e na manipulação do objeto em estudo. Além disso, ele corresponde ao emprego relacionado à objetividade tátil ou instrumental, que ultrapassa a realidade imediata por meio de uma determinação objetiva precisa, com o uso de instrumentos de medidas, mas que ainda não consta das relações racionais.

- *O racionalismo simples*

É o primeiro estágio em que a razão prevalece sobre o real. A noção não representa mais um elemento primitivo de uma experiência imediata e direta, mas é fruto da razão, podendo de acordo com o conceito, ser expresso algebricamente. Os conceitos passam a fazer parte de uma rede de relações *racionais*.

¹⁸ A balança é um instrumento que mede a massa de um objeto. No entanto, podemos dizer que indiretamente ela mede o peso, uma vez que, $P=m.g$ (o peso é igual a massa do objeto multiplicado pelo valor da aceleração da gravidade local).

- *O racionalismo completo*

Com o advento da ciência contemporânea, a objetivação se torna mais abstrata. É precisamente no interior da noção que se busca a *conceitualização*, em rompimento com o racionalismo tradicional. Assim, por exemplo, nas noções que expressam *absoluto/relativo*, *matéria/radiação*, *determinismo/indeterminismo* e a noção “*partícula e onda*”/“*dualidade onda-partícula*”; a segunda noção rompe com a primeira. No entanto, o racionalismo completo representa uma abertura do pensamento tradicional alargando suas bases.

O sistema atômico não é um sistema planetário em miniatura. O *elétron* não pode ser localizado da forma que esta imagem implicaria (Bachelard, 1991, p. 130)

Não nos parece, com efeito, que se possa compreender o átomo da física moderna sem evocar a história de suas imagens, sem retornar as formas *realistas* e as formas *racionais*, sem explicitar o *perfil epistemológico*.

- *O racionalismo discursivo*

O racionalismo discursivo nos conduz a um princípio dualístico e probabilístico de encontrarmos um mesmo corpúsculo que pode assumir diferentes estados *mássicos* e *energéticos*. A idéia de “massa negativa” e de “energia negativa” caracteriza-se por uma noção ultra-racional do pensamento. Os conceitos passam a fazer parte de uma rede de relações racionais.

Recusava-se energeticamente conceber uma probabilidade que fosse negativa. Todas as vezes que uma teoria encontrava funções que designassem probabilidades negativas, considerava-se imediatamente como um dever modificar a teoria para eliminar este “absurdo”. (BACHELARD, 1991, p. 85).

“Esta multiplicidade inesgotável talvez justifique nosso plano que, no fundo, vai do *simples* para o *complexo*, de um *conceito fundamental* (...) para *conceitos derivados*, (...) do *finito* para o *infinito*” (BACHELARD, 2004, p. 47).

Logicamente seria pretensiosa demais nossa intenção se quiséssemos abordar todas as categorias ou zonas do perfil. Abordamos aqui, os cinco níveis epistemológicos apenas para dar ao leitor uma noção geral do pensamento bachelardiano. Entretanto, vamos trabalhar

somente com as três primeiras zonas do perfil: *realismo ingênuo*, *empirismo* e *racionalismo clássico*, mesmo porque, como o próprio Bachelard (1991, p. 47) adverte “é raro que uma noção tenha um espectro completo. Existe ciência em que o *racionalismo* quase não existe. Existem outras que o *realismo* está quase eliminado”.

A transposição didática destas idéias para sala de aula fornece subsídios para investigar o *perfil epistemológico* na história da ciência e no pensamento dos estudantes. A identificação desses perfis e desses obstáculos epistemológicos são as “ferramentas” que podem auxiliar o professor em atividades de ensino, tornando-as conseqüentemente mais profícuas.

1.7 O papel da retificação do “erro” em busca da “verdade”

Nas seções precedentes, tivemos a oportunidade de expor alguns princípios básicos e fundamentais da epistemologia bachelardiana que subsidiassem nossa compreensão do papel do *erro* no ensino de ciências. Antes de tudo, consultamos a literatura da área e pudemos verificar que existe uma série de dificuldades na aquisição de conceitos abstratos que ocorrem tanto em nível *epistemológico* quanto em nível *ontológico*. Traçamos um panorama geral da epistemologia de Bachelard, explicitando seu caráter *histórico*, *descontinuista*, *racionalista* e *dialético*. Verificamos também que o autor preconiza um conhecimento *inacabado* e *polêmico* contra o saber imediato. As noções de *obstáculos* e de *perfil epistemológico* foram estudadas e, mostramos que a história da eletricidade esteve impregnada de obstáculos ao desenvolvimento desta ciência. Estas duas noções - *obstáculo* e *perfil epistemológico* - são as bases fundamentais do pensamento de Bachelard, e a nosso ver elas estão intrinsecamente relacionadas. Além disso, estas noções e os conceitos estudados anteriormente são extremamente relevantes para a compreensão da importância do *erro* em nosso estudo.

“Poderíamos relacionar as duas noções de *obstáculo epistemológico* e de *perfil epistemológico* porque um perfil epistemológico guarda a marca dos obstáculos que uma cultura teve que superar. Os primeiros obstáculos, aqueles que são encontramos nos primeiros estádios da cultura, dão lugar a nítidos esforços pedagógicos” (BACHELARD, 1991, p. 48).

O conhecimento histórico e o conhecimento pedagógico estão intrinsecamente relacionados em Bachelard. O conhecimento científico não tem um ponto de partida. A idéia de iniciar da “estaca zero” e de se chegar a uma *verdade* definitiva, inexistente. Para Bachelard, “o racionalismo é uma filosofia que *continua*; nunca é verdadeiramente uma filosofia que

começa” (BACHELARD, 1977, p. 66). Neste sentido, o autor alerta que “não existem *verdades* primeiras, só *erros* primeiros”. Pois, segundo ele, “não há *verdade* sem *erro* retificado”. Tampouco, existe uma linha de chegada, pois Japiassu (1976, p. 38) dizia que traçar uma fronteira para o conhecimento já seria ultrapassá-lo e, segundo o pensamento bachelardiano o conhecimento possui um caráter *inacabado*. Se não existem limites para o conhecimento, trata-se de um eterno *recomeçar*: “*o antigo explica o novo e o assimila; e, vice-versa, o novo afirma o antigo e o reorganiza*” (BACHELARD, 2004, p. 19).

Em relação à evolução científica, considerar a história e o desenvolvimento humano como um processo linear, cumulativo e unívoco, é desconsiderar a verdadeira complexidade do *conhecimento científico* e do *pensamento*. A aquisição do saber não se desenvolve de maneira contínua e progressiva como se pensava anteriormente. “O conhecimento é sempre a reforma de uma ilusão. Conhecemos sempre *contra* um conhecimento anterior, retificando o que se julgava sedimentado” (LOPES, 1996, p. 254). Para Bachelard (1996, p. 295) o *erro* é intrínseco ao processo e não há como se livrar dele, pois, para Bachelard “o homem que tivesse a impressão de nunca se enganar estaria enganado para sempre”. Sob a perspectiva de Bachelard, o conhecimento se constrói pela *superação dos obstáculos epistemológicos* e “a verdade resulta de uma *rejeição sucessiva de erros*” (SANTOS, 1998, p. 133). Aliás, Japiassu (1976, p. 64) nos lembra que “o que se chama comumente de ‘*verdade*’ não passa de um *ideal* a ser atingido”.

Concordamos com autores, como Martins (2004) e Santos (1998), que defendem a relação entre os *obstáculos epistemológicos* e as *concepções alternativas*. Martins (2004, p. 38) considera que “*as concepções alternativas são expressões da existência de obstáculos epistemológicos*”. Na mesma linha de raciocínio, Santos (1998, p. 134) esclarece que estas concepções alternativas ainda que expressem a primitividade dos conceitos científicos, ainda que espontâneas e erradas, “são condições necessárias ao desenvolvimento cognitivo e aquisição do saber racional”. A nosso ver, aí está a principal causa dos *erros*. As concepções alternativas e os obstáculos epistemológicos revelam que o aluno está inserido em uma cultura e, por conseguinte, possui um *perfil epistemológico* que representa suas crenças, suas convicções e suas *idiossincrasias*. Este conhecimento prévio é fruto da cultura do sujeito aprendiz e Bachelard (2004, p. 245) defende que todo o espírito que conhece tem que ter um passado, e que “*todo conhecimento é sempre uma referência a um domínio antecedente*”.

Japiassu (1976, p. 65) dizia que uma das teses bachelardianas se refere à noção de que a *verdade* não é absoluta, pelo contrário, a *verdade* corresponde às etapas do processo de

busca a um *conhecimento aproximado*. O espírito científico nesta busca incessante pela *verdade* inatingível está sujeito a incorrer no *erro*. O *erro* de que nos fala Bachelard, não corresponde a uma afirmação gratuita feita sem nenhum esforço de pensamento. Trata-se de um *erro positivo, normal e útil*, que “exerce uma função positiva na gênese do saber” (BACHELARD, 1996, p. 298). O *erro* é um acidente de percurso e, “um fracasso não tem, por si só, a força de eliminar uma idéia enquanto não ficar provado que o fracasso é o desfecho normal e constante do encadeamento dos intermediários que o separam da idéia a verificar” (BACHELARD, 2004, p. 267). “Neste sentido, Paiva (2005, p. 82) esclarece que “o *erro* e a *ignorância* não correspondem a uma falta debilitadora do saber, inversamente; nele reside à própria vitalidade do pensamento”. Japiassu (1976, p. 66) acredita que quanto mais complexo for o *erro*, mais rica será a experiência. Para Japiassu (1976, p. 38) a constatação de uma impossibilidade, não significa de forma alguma uma limitação do pensamento. Não constitui uma prova contra a debilidade da razão humana. Ela prova apenas que o problema já implica um *método* de solução defeituoso. É necessária a *mudança do método*.

A epistemologia e a pedagogia na visão bachelardiana confere uma conotação positiva e relevante ao papel desempenhado pelo *erro* na formação e aquisição de conceitos científicos. Para Bachelard (2004, p. 251) “o *erro* é um dos tempos da dialética que precisa ser transposta. Ele suscita uma investigação mais precisa, é o elemento motor do conhecimento”. Assim, no campo pedagógico, reconhecer nossas falhas pessoais é a melhor maneira de aceitar novas idéias. No reino da epistemologia, a ‘*Filosofia do Não*’ está resumida em uma *dialética histórica* que apresenta a retificação de um *erro*, a extensão de um sistema, o complemento de um pensamento.

Pensar a ciência e o conhecimento como *processo*, ou seja, que conhecimento se divide num *antes* e *depois* é efetivamente considerar a descontinuidade do pensamento. “Entre os dois pólos do mundo *destruído* e do mundo *construído*, propomos simplesmente introduzir um mundo *retificado*” (BACHELARD, 1977, p. 63). Portanto, para Japiassu (1976, p.58) há duas histórias das ciências: a *superada* e a *sancionada*. O espírito científico é essencialmente a *retificação* do saber antigo. O pensamento é um eterno recomeço.

Cientificamente, pensa-se o verdadeiro como retificação histórica de um longo *erro*, pensa-se a experiência como *retificação* da ilusão comum e primeira. Toda a vida intelectual da ciência move-se *dialeticamente* sobre esta diferencial do conhecimento, na fronteira do desconhecido. A própria essência da reflexão é compreender que não se compreendera (BACHELARD, 2000, p. 147).

Muitas vezes, um *erro refletido* se torna mais importante que uma *verdade imediata*. Bachelard atribui uma importância fundamental para a noção do *erro*, pois para ele, o problema do *erro* parece ser “mais importante que o problema da *verdade*; ou melhor, só encontramos uma solução para o problema da *verdade* quando afastamos *erros* cada vez mais refinados” (BACHELARD, 2004, p. 246). A *retificação* é, portanto, o pensamento em seu dinamismo profundo, ou seja, é o estado de mobilização do sujeito projetando “uma luz recorrente sobre as obscuridades dos conhecimentos incompletos” (BACHELARD, 2000, p. 16). O autor prossegue ratificando sua posição e salientando que o processo de *retificação* não é apenas o retorno a uma experiência, que pode ser corrigida por uma atenção mais forte e mais competente, mas sim, é “o princípio fundamental que sustenta e dirige o conhecimento e o instiga sem cessar a novas conquistas” (BACHELARD, 2004, p. 246). Nesta linha de raciocínio, o autor ressalta a importância da *retificação* afirmando que “a inflexão do espírito em direção ao passado, para responder a solicitação de um real inesgotável constitui o elemento dinâmico do conhecimento” (BACHELARD, 2004, p. 19).

Em relação ao conhecimento científico, pode-se dizer que o *dado* já não é mais evidente, já não é mais concreto. A *verdade científica* se distancia cada vez mais do senso comum. O conhecimento científico passa a ser um produto da racionalização da Ciência. A Física e a Química constroem modelos abstratos para tentar explicar os fatos. O aluno, por sua vez, constrói seu próprio modelo para expressar seu pensamento. A finalidade do ensino é divulgar este saber, porém nunca se afastando do mundo real. O professor deve se colocar num ponto intermediário entre o *realismo* e o *racionalismo*; entre o *conhecido* e o *cognoscente*; entre a *experiência* e a *razão*. Esta relação dialética entre o *erro* e a *verdade* segundo Santos (1998, p. 133) não é uma relação de simetria, mas sim, uma relação de duas positivities. “Para que haja conhecimento, é preciso haver, entre os dois pólos – conhecido e cognoscente - uma união progressiva firmada sobre pontos de referências intermediários” (BACHELARD, 2004, p. 261).

É preciso sempre fazer uma grande diferença entre o início do conhecimento e a vida dele. A tal ponto que não se pode atribuir um papel de informação à sensação primeira. Ela é apenas um sinal, um convite, um pretexto da atenção e da reflexão. O conhecimento nasce apenas da multiplicidade e da combinação das sensações com as lembranças (BACHELARD, 2004, p. 251).

O processo de *retificação* depende basicamente de dois fatores: a pré-disposição e a pré-concepção do aprendiz. Sendo assim, primeiramente deve haver uma pré-disposição do

sujeito ao processo de aprendizagem, pois “o ato voluntário deixa uma marca individual. O esquema que, de certo modo, é o esquema figurado, será necessariamente personalizado. O seu esquema não é o meu esquema, mesmo quando eles parecem absorver-se num conceito único” (BACHELARD, 2004, p. 26). Há que se considerar também as pré-concepções individuais dos alunos, uma vez que, “a *verdade* de nosso conhecimento do real é sempre em última análise a *verdade* de nossos sentidos; a verificação é a ação de nossos músculos; a generalização é o esquema de nossa vontade que constrói nossos próprios gestos” (BACHELARD, 2004, p. 257). Assim, se o ato de conhecer provoca polêmicas na mente cognoscente, seguidas de múltiplas *retificações*, é porque estamos nos aproximando da *verdade*, pois para “que haja *erros* e, por conseguinte, *retificações* necessárias; parece uma prova de que há um objeto. A existência de um *erro subjetivo* prova a existência de uma *verdade objetiva*” (BACHELARD, 2004, p. 249).

O *erro* tem um papel decisivo em relação ao conhecimento ulterior, pois “não se trata de uma eliminação pura e simples; para estimar o valor do que se conserva, leva-se em conta o que é eliminado” (BACHELARD, 2004, p. 251). O conceito se modifica depois de ser *retificado*. Assim, “em qualquer processo educativo, o progresso não consiste tanto na ligação de uma percepção com uma resposta, mas sim na modificação da própria percepção” (*Ibid.*). Neste sentido, não se trata de uma atitude de recusa, mas uma atitude de *reconciliação*. Desta forma, o conhecimento se constitui numa *reorganização do saber numa base alargada*. Bachelard (1977, p. 178) dizia que “compreender um fenômeno novo não é simplesmente acrescentá-lo a um saber adquirido, é reorganizar os próprios princípios do saber”.

No conhecimento concreto, a hipótese é uma pergunta que não está separada de sua resposta. Para captar todo o valor cognitivo da resposta, é preciso repetir a pergunta que apresentava um momento importante de nossa pesquisa sobre o real; essa pergunta está de fato no desfecho dos esquemas, é nela que se coordenam as analogias, é por ela que o conhecimento se sistematiza (BACHELARD, 2004, p. 268).

Para se verificar a validade do conhecimento depois de retificado “é preciso que essa hipótese seja verificada em outros objetos, sob outros pontos de vista, com um grau de repetição tanto maior quanto mais elevado for o conceito. De todo modo, se o conhecimento for considerado em seu esforço pleno, o conceito sempre deverá ser visto como desdobrado a partir de um juízo sintético em ação” (BACHELARD, 2004, p. 25). “São os avanços do conhecimento que determinam discriminações e sugerem hipóteses mais apuradas, as quais exigem verificações mais cuidadosas” (BACHELARD, 2004, p. 267).

No processo dialético em busca da objetividade “a *organização sistemática* do domínio de explicação e a contínua *retificação* são dois momentos do conhecimento verdadeiramente dinâmico, considerado em ato, em seu esforço de *conquista e assimilação*” (BACHELARD, 2004, p. 251). Esta reorganização do saber confere ao conhecimento uma verdade provisória.

Em suma, a introspecção do espírito em direção ao passado revela que “o que sabemos é fruto da desilusão com aquilo que julgávamos saber; o que somos é fruto da desilusão com o que julgávamos ser” (LOPES, 1996, p. 254).

1.8 A psicanálise do conhecimento objetivo

A nossa tarefa nesta seção é bastante modesta, pois queremos apenas ressaltar alguns aspectos do método psicológico bachelardiano que trata da *psicanálise do conhecimento objetivo*. Paiva (2005, p. 96) nos ajuda a definir o termo dizendo que, a psicanálise do conhecimento objetivo “equivalaria, em última instância, a erradicar do olhar científico, as emoções, as fantasias e as forças psíquicas que acompanham os homens em seu envolvimento passional com o mundo, explicitando o assédio do inconsciente, cuja manifestação na construção do saber resulta na produção de uma ciência demasiadamente pessoal e pouco criteriosa”. Em outras palavras, trata-se de chamar a consciência, aquilo que Bachelard designa por *obstáculos epistemológicos* a fim de separar um passado não científico de um presente científico. O conhecimento tem que travar um combate entre estes dois níveis de pensamento, para que o nível mais elementar possa ser superado. No nível educacional, os aprendizes “só podem progredir no conhecimento opondo-se conscientemente, a conhecimentos anteriores menos elaborados” (SANTOS, 1998, p. 206).

Bachelard (1996, p. 290) sugeriu um olhar atento do mestre às *concepções alternativas* e aos *obstáculos epistemológicos* que os estudantes trazem para o ambiente escolar. Ele disse que, “se o professor de física fizesse várias sondagens psicológicas, ficaria admirado com a variedade de racionalizações individuais para um mesmo conhecimento objetivo”. Assim Bachelard (1996, p. 24), recomendou que o ensino devesse começar por uma *catarse* intelectual e afetiva, e que, coloca o pensamento em estado de mobilização permanente. Neste sentido, Bachelard (1977, p. 29) argumentou que o professor deve “entrosar o aluno na luta das idéias e dos fatos, fazendo-o observar bem a inadequação primitiva da idéia com o fato”. Em outras palavras, o professor “apresenta-se como freio às

convicções rápidas”, ao mesmo tempo em que traz à tona o sentimentalismo do sujeito. Segundo Bachelard, “já não há operação objetiva sem a consciência de um *erro* íntimo e primeiro, devemos começar as lições de objetividade por uma verdadeira confissão de nossas falhas intelectuais”. Destarte, Bachelard (1996, p. 293) reforçou esta idéia afirmando que, “psicologicamente, não há *verdade* sem *erro retificado*. A psicologia da atitude objetiva é a história de nossos *erros* pessoais”.

Bachelard viveu numa época de efervescência das idéias científicas. Pais e mestres abusavam mais dos seus poderes do que de seus saberes. O ensino era autoritário e dogmático. Bachelard rompeu com este sistema pedagógico instaurando a “*Pedagogia do Não*”. Ora, o mundo passava por uma verdadeira revolução científica, e já não se podia desconsiderar a necessidade de se compreender os fenômenos físicos. Assim, todos – sem exceção – deveriam conhecer mais, para poder questionar melhor. “A pessoa afeita à cultura científica é um eterno estudante. A escola é o modelo mais elevado da vida social. Continuar sendo estudante deve ser o voto secreto de todo professor” (BACHELARD, 1977, p. 31). Neste sentido, Bachelard defende uma escola em que o mestre se torne verdadeiramente aluno e, em que, o aluno se torne realmente um mestre: “ensinar é a melhor maneira de aprender” (BACHELARD, 1977, p. 19). “Quem é ensinado deve ensinar” (BACHELARD, 1996, p. 300). Este novo modelo de ensino exige do professor atitudes cujo papel fundamental é ser agente facilitador e estimulador do processo de psicanálise, pois Santos (1998, p. 207) afirmou que, o professor que demonstra uma imagem de imobilidade intelectual é incapaz de desencadear no aluno mecanismos de mudança.

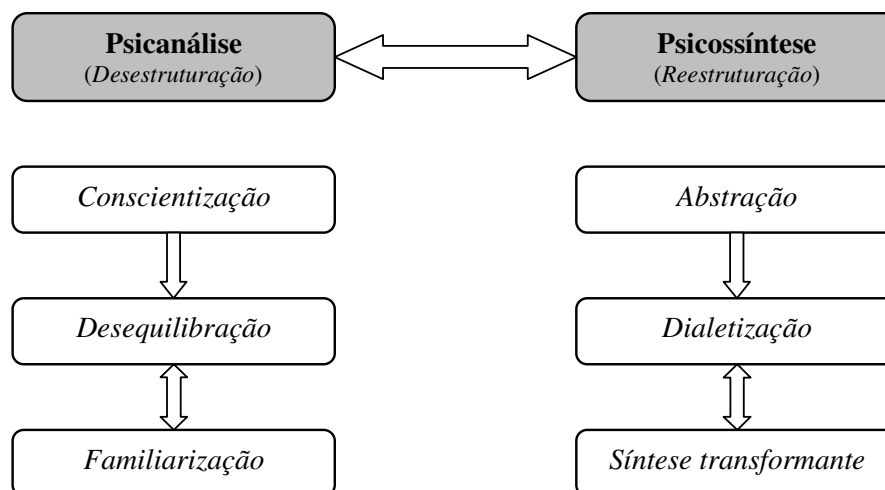
O pensamento inerte deve ser colocado em estado de vigília e de mobilização. Dizer que o conhecimento deve travar um combate consigo, implica que “o sujeito do conhecimento chame à consciência elementos de um inconsciente alheio ao espírito” (SANTOS, 1998, p. 204). Dito de outro modo, o aluno deve se conscientizar dos seus próprios *obstáculos epistemológicos* e das *concepções alternativas* que eles possuem. Porém, a etapa da psicanálise não se limita simplesmente em extrair conhecimentos elementares dos alunos. Ela consiste em estratégias de diálogo que valorizam diferentes opiniões, experiências e pensamentos, resultando assim, num conjunto de idéias sistematizadas, apoiadas por uma ou mais razões.

Japiassu (1976, p. 58), epistemologicamente fundamentado em Bachelard, dividiu o progresso da ciência em dois momentos críticos: o *momento da ruptura* e o *momento de reorganização*. Santos (1998, p. 202-25), embasando suas análises pedagógicas no referencial

bachelardiano, definiu estes tempos como uma *desestruturação* e uma *reestruturação* do saber, ou mais especificamente, no *tempo da psicanálise* e no *tempo da psicossíntese*, respectivamente. O *Quadro 2*¹⁹ apresenta uma estrutura simplificada destes *tempos críticos* subdivididos em três *tempos lógicos*. Assim a psicanálise se subdivide em: *conscientização*, *desequilíbrio* e *familiarização*; enquanto que a psicossíntese se subdivide em: *abstração*, *dialetização* e na *síntese transformante*.

Analisando resumidamente as etapas da *psicanálise*, pode-se dizer que no tempo da *conscientização*, o aluno é levado a conscientizar e a explicitar as suas certezas chamando-as à consciência, clarificando-as, formulando-as, e discutindo-as. A estratégia da *desequilíbrio* consiste em avaliar, afastar ou limitar, por *infirmiação*²⁰ (confirmação negativa) as concepções alternativas dos alunos. O propósito da *familiarização* é a introdução de novas idéias, ou seja, é a familiarização com o conhecimento científico socialmente acreditado.

Quadro 2 – Estrutura geral dos tempos críticos.



No tempo da *psicossíntese*, a *abstração* caracteriza-se pela fase em que o aluno organiza e sistematiza a informação recebida. A estratégia de *dialetização* destina a validar as idéias introduzidas por comparação com as *concepções alternativas* prévias. É o diálogo entre

¹⁹ Podemos encontrar uma estrutura geral deste modelo de aprendizagem em Santos (1998, p. 203). Este quadro é apenas uma divisão simplificada dos tempos da *psicanálise* e da *psicossíntese*.

²⁰ Este termo será detalhado nas páginas seguintes.

o obstáculo e a sua negação. É pensar sobre o seu próprio pensar. A *síntese transformante* tem como propósito proporcionar uma compreensão recorrente do *erro* das concepções superadas.

As etapas de *desestruturação* e *reestruturação* do saber parecem ser profícuas para subsidiar o nosso estudo. Os tempos da *psicanálise* como estratégia de ensino tem por finalidade conscientizar o aluno das suas *dificuldades*, dos seus *obstáculos* e dos seus *erros*. O propósito da etapa da *psicossíntese* é reorganizar o pensamento por meio de uma dialética entre o conhecimento a ser ensinado e o conhecimento já superado. Só assim, o ensino realmente faz sentido para o aprendiz. Visto que, o nosso estudo está centrado nas estratégias da *psicanálise*, em que a *conscientização*, a *desequilibração* e a *familiarização* constituem etapas da nossa análise de dados, achamos por bem, explicitar melhor estes tempos lógicos.

O próprio termo *conscientização* sugere o reconhecimento de que os conhecimentos que o aluno possui, não são suficientes para explicar determinados fenômenos. Para isto, Santos (1998, p. 212) recomendou que o professor propusesse atividades que encorajassem o aluno a invocar as suas idéias, explicitando-as ao professor e aos colegas, mas acima de tudo, a si próprio. É fundamental que o aluno raciocine sobre suas concepções. Para isto, o professor deve disponibilizar à ele um tempo para reflexão. O educador deve explorar o significado do que está sendo dito, deixando o aprendiz usar seu vocabulário próprio, mesmo que ele apresente termos incorretos, para que possa guiar o diálogo e para conscientizá-lo de suas certezas. A interação entre os colegas e o registro gráfico são elementos pedagógicos relevantes com o intuito de facilitar o pensamento.

O processo de tomada de consciência retoma as idéias prévias não pela ótica da insatisfação, mas pela conscientização do contexto em que ela pode ser aplicada (MORTIMER, 2000, p. 355).

O tempo lógico da *desequilibração* consiste numa etapa em que o aluno, após tomar consciência de seus obstáculos e desconfiar de suas certezas, começa a se afastar de seus conhecimentos iniciais, ou seja, das suas *concepções alternativas*. Isto se dá pelo confronto entre estes conhecimentos elementares com conhecimentos mais elaborados que advém do professor ou dos colegas, em que o aluno busca as razões para a explicação de suas opiniões. As discussões permitem ao aluno se dar conta das divergências existentes entre as concepções e, perceber que elas não são *verdades* absolutas. A *infirmação* das *concepções alternativas*, portanto, consiste em “introduzir experiências que as questionem e as contradigam, questões críticas que as ponham em causa, contra-exemplos, anomalias históricas, evidências teóricas e práticas reveladoras dos limites de seu campo de aplicação, contrastação experimental no

sentido de falsificá-las, etc.” (SANTOS, 1998, p. 215). Em outras palavras a *infirmiação* caracteriza-se pela tomada da consciência do “*não*”. Segundo a autora, este desequilíbrio levará a necessidade de procurar uma nova concepção. Este conflito cognitivo interno tenderá a ser resolvido pela *familiarização*.

O processo de ensino-aprendizagem poderia ser caracterizado como um diálogo entre os discursos científico e cotidiano, no qual novos significados são tanto construídos como transmitidos (MORTIMER, 2000, p. 367).

As estratégias de *familiarização* têm como propósito a introdução de novas idéias. Assim, é somente com a construção de novas idéias que se dá a ruptura entre os conhecimentos. Neste sentido, Santos (1998, p. 216) comenta que “se algumas experimentações podem bastar, como estratégia, para *infirmar* idéias prévias, geralmente, não basta para ‘descobrir’ a realidade escondida. Em regra, uma idéia combate-se com outra idéia”. A autora aponta algumas condutas que permitiriam ao professor a implementar esta estratégia em sala de aula, entre as quais podemos apontar: proporcionar situações em que o aluno comente textos históricos, onde ele identifique conclusões e suporte ou justifique estas conclusões; situações em que o aluno sintetize várias opiniões numa idéia, situações em que o recurso utilizando palavras com significados múltiplos, dê oportunidades para a identificação do sentido em que estão sendo usadas, etc.

A epistemologia, o pensamento bachelardiano e os conceitos veiculados neste Capítulo são as “*espinhas dorsais*” do nosso trabalho de pesquisa. É por meio destes conceitos que poderemos dialogar com o nosso *referencial teórico* na análise dos dados coletados.

2. UMA RECORRÊNCIA HISTÓRICA AO ELETROMAGNETISMO

“o conhecimento precisa ter um elemento especulativo”
(BACHELARD, 2004, p. 17).

No Capítulo antecedente, estudamos as principais características da epistemologia bachelardiana. Um primeiro aspecto a ser destacado é que se trata do estudo de uma história *julgada*. Diferentemente do historiador que toma as *idéias* como *fatos*, o epistemólogo toma os *fatos* como *idéias* (BACHELARD, 1996, p. 12). Em outras palavras, “não se trata simplesmente de revivermos o passado, mas de julgá-lo, pois a solução encontrada refletirá sua clareza sobre os dados” (JAPIASSU, 1976, p. 56). Outro aspecto que merece atenção, e que vamos abordar neste Capítulo, diz respeito ao caráter dialético entre o *realismo* e o *racionalismo*: uma atitude polêmica entre *experiência* e *razão* numa busca incessante pela “*verdade provisória*” e num movimento de *dialética* e *síntese*.

A finalidade deste Capítulo não é abordar toda a história do eletromagnetismo, pois isto seria uma tarefa impossível e foge ao objetivo do trabalho, mas, apenas fazer um “recorte” dos episódios para mostrarmos que, ao regressarmos no passado histórico da *eletricidade* e do *magnetismo*, podemos encontrar alguns *obstáculos epistemológicos* no desenvolvimento e na formação dos conceitos e verificar a formação de diferentes zonas do *perfil epistemológico* desta temática ao longo do processo histórico. Além disso, vamos levantar alguns aspectos polêmicos entre estas duas ciências que culminaram na proposição do *eletromagnetismo*, em 1820, por H. C. Ørsted. Teremos então, a oportunidade de mostrar o movimento *dialético* entre o experimento crucial realizado por Ørsted e diferentes interpretações feitas por cientistas do século XIX. Este momento histórico marcou uma verdadeira *ruptura* entre dois estágios de desenvolvimento: a concepção da *ação à distância*²¹ e a concepção da *teoria de campo*. A segunda nega a primeira, não numa atitude de recusa, mas numa atitude de *conciliação*. Finalmente, evidenciar a síntese do eletromagnetismo com

²¹ Existem três tipos de interação entre corpos que obedecem à ação à distância: a força *gravitacional*, a força *elétrica* e a força *magnética* que atuam com o *inverso do quadrado da distância* entre os corpos interagentes. Este tipo de ação desconsidera a existência de um meio entre os corpos atuantes e, por isto, considera-se que a ação ocorra instantaneamente.

J. C. Maxwell. Neste trajeto, vamos nos defrontar com os principais *erros*²² históricos que, ao serem retificados, representaram “passos” importantes em direção a “*verdade*” socialmente acreditada e cientificamente aceita.

O papel das aulas de ciências é introduzir o aluno na cultura científica, uma cultura que tem história, métodos de trabalho e estruturas conceituais complexas (MORTIMER, 2000, p. 366).

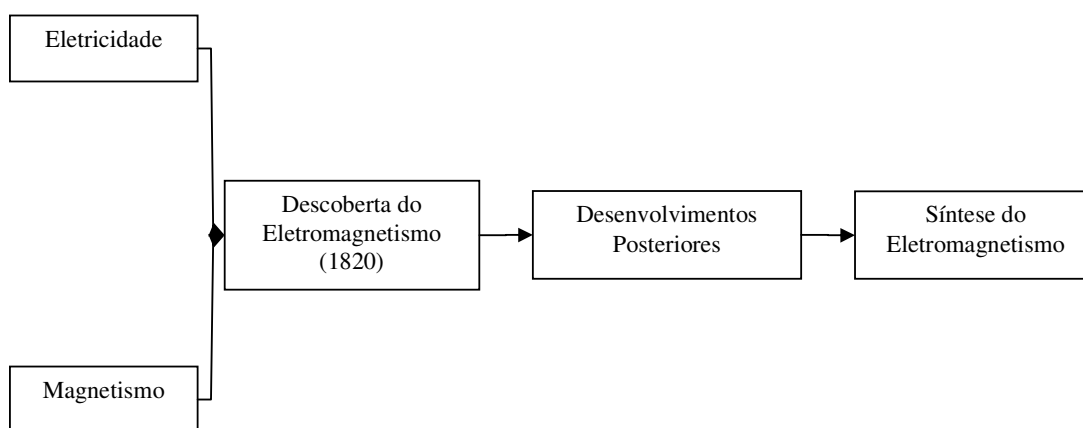
Há poucos trabalhos em Educação para as Ciências que aplicam a *história* e a *epistemologia da ciência* no estudo de algum conceito científico, dentro do ambiente escolar. Ao reler a história a partir do pensamento atual é possível compreender como certas idéias foram produzidas em sua época e, como o conhecimento atual rompeu com conhecimentos antecedentes. Em nosso trabalho, a história e a epistemologia da ciência contribuíram fundamentando algumas estratégias de ensino que nos permitiram, por meio dos *erros* históricos, diagnosticarem as *concepções alternativas* e compreender de maneira mais aprofundada o pensamento dos alunos. A ciência e o ensino podem e devem ser entendidos como processos de construção inacabados e em constante *retificação*. Desta forma, compreender os *erros* históricos representa estratégias profícuas para entendermos a constituição do pensamento.

O conteúdo histórico deste Capítulo está diretamente relacionado à temática ministrada durante o “*curso*” (ver seção 3.1) em que os dados foram coletados. Assim, este Capítulo está dividido em *cinco seções*, as quais estão subdivididas em subseções. A *primeira seção* resgata as primeiras idéias e concepções referentes à eletricidade e o magnetismo, que num primeiro momento, eram tidas como ciências distintas, independentes e sem vínculos. As semelhanças e as diferenças entre elas e as evidências ou não da interação entre ambas, culminaram com a descoberta de uma nova ciência: *o eletromagnetismo*. A *seção dois* trata justamente deste período e do experimento realizado por Ørsted, ressaltando seu aspecto polêmico. Muitos autores afirmam que esta descoberta foi acidental ou casual; outros defendem que as idéias de Ørsted tinha concepções filosóficas que guiavam suas pesquisas. Na *seção três* são apresentadas várias interpretações subseqüentes para o fenômeno descoberto, incluindo cientistas como Ampère, Arago, Biot-Savart e Faraday. Estas interpretações e experimentos mostram um racionalismo que *se aplica*. Assim, conceitos oriundos deste período foram fundamentais para o desenvolvimento tecnológico. A *quarta seção* mostra, de forma resumida, a síntese do fenômeno eletromagnético com as idéias de Maxwell. O *Quadro 3* apresenta uma visão geral do que foi exposto anteriormente.

²² Para compreender o significado da palavra *erro* nesta Tese ver as páginas de 13 à 18.

Reservamos a *quinta seção* para comentários gerais sobre a História da Ciência baseados em nosso referencial epistemológico.

Quadro 3 – Diagrama esquemático do desenvolvimento histórico do eletromagnetismo



2.1 Fenômenos independentes

Provavelmente, os gregos foram os primeiros povos da antiguidade a conhecerem os fenômenos da eletricidade e do magnetismo. A palavra *eletricidade* provém da palavra grega *eléktron*, que significa “âmbar”. O termo *magnetismo* também tem origem grega e advém da palavra *magnésia*, uma região da Ásia Menor onde era encontrado o minério denominado “magnetita” (BELÉNDEZ, 2008 p. 2-7).

O *âmbar* é uma resina endurecida de origem vegetal que, depois de friccionada, adquire a propriedade de atrair pequenos objetos, como por exemplo, palhas ou cascas de sementes colocadas em seu entorno. Uma das primeiras tentativas de se explicar os fenômenos elétricos ocorreu com o filósofo Plutarco (100 D.C.), que propôs uma explicação para o *efeito âmbar*: segundo ele, o âmbar é constituído de uma *natureza espirituosa* que emana do objeto por meio do atrito e, após ser liberada produz movimentos de ar ao redor do corpo atritado, sendo responsável pelo seu poder de atração (ROLLER; ROLLER, 1957, p. 548-50).

A *magnetita* é um minério de óxido ferroso encontrado em estado natural em várias partes do mundo, que possui duas propriedades básicas: *atrair* materiais ferrosos e uma *tendência diretiva* quando livremente suspenso (LINDSAY, 1940, p. 271). Diferentemente do

âmbar, a magnetita não precisa ser friccionada. Convém salientar que, na época, somente a propriedade de *atração* era atribuída aos fenômenos elétricos e magnéticos.

Não havia qualquer tipo de evidência que pudesse sugerir uma possível relação entre *eletricidade* e *magnetismo* (incluindo também a *luz* e o *calor*). Sendo assim, estas ciências eram consideradas como sendo fenômenos distintos. No século XVI o matemático e físico italiano Jerome Cardan (1501-1576) fez uma afirmação em seu livro *De Subtilitate* (1550), declarando que “a *magnetita* e o *âmbar* não atraem do mesmo modo”. Os dois fenômenos diferem também em qualidade e não apenas em grau (intensidade), como afirmaram os pioneiros a escreverem sobre o assunto. (ROLLER; ROLLER, 1957, p. 548-50). Em 1600, Willian Gilbert (1540-1603) no livro “*De Magnete*” discorre principalmente sobre o magnetismo, mas faz também uma breve digressão sobre o fenômeno da eletricidade. Gilbert (1600, p. 75) diz que muitas pessoas ignoram e, facilmente comentem *erros* ao advogarem sobre as propriedades do *âmbar* e da *magnetita*. Segundo ele, “a causa dos movimentos da magnetita são bem diferentes daquelas que dão ao âmbar suas propriedades”. Assim, na época, acreditava-se que *estes fenômenos eram totalmente independentes*.

Diante desta “aparente certeza”, os filósofos naturais não se acomodaram e passaram a investigar mais profundamente as características destes fenômenos. Principalmente, por meio da *observação* e da *experimentação*, eles buscavam conhecer cada vez melhor estas ciências.

2.1.1 As primeiras explicações sobre a magnetita

O conhecimento de *senso comum* é muito característico da maneira de pensar dos povos antigos. Bartholomew (*fl.* c. 1220-1240) (1220, p. 368) e Lindsay (1940, p. 272) contaram que na antiguidade algumas *propriedades místicas* foram atribuídas à *magnetita*^{23,24}. Estas crenças são características do conhecimento *pré-científico* e estão totalmente desprovidas de uma “sustentação teórica”.

²³ Bartholomew cita como exemplo das *propriedades místicas* que, em um templo, uma estátua flutuava no ar pelo poder da magnetita, o que dava um poder sobrenatural ao fenômeno; esta pedra tinha o poder de restituir maridos às suas esposas, pois aumentava a elegância e dava charme ao discurso, sendo este minério considerado uma verdadeira pedra preciosa; quando salpicado sobre brasas e postos nos quatros cantos de uma residência, prejudicava o seu morador; os magnetos eram indicados para o tratamento de vários tipos de doenças.

²⁴ Lindsay aponta as seguintes *propriedades místicas*: possuía o poder de curar algumas enfermidades e era válido para ferimentos; um magneto friccionado ao alho perdia suas propriedades magnéticas e ao ser imerso em sangue de bode ou cabra, sua força de atração podia ser restabelecida; segundo o autor, existem histórias ditas dos famosos rochedos do Oceano Índico, que são repletos de magnetita e que atraíam os parafusos dos navios que deles se aproximavam.

Um dos primeiros trabalhos científicos relacionado ao magnetismo e que está escrito em uma narrativa simples, foi realizado por Petrus Peregrinus (c. 1220-?). Ele observou que havia no céu dois pontos importantes, denominados *ártico* e *antártico*. A esfera celeste gira sobre estes pontos, como se eles fossem pivôs. Analogamente, toda magnetita possui duas regiões distintas, diametralmente opostas e, que apresentam maior poder de atração. Estes locais existentes na pedra são denominados pólos, *austral* e *boreal*, ou ainda, *norte* e *sul*, respectivamente (PEREGRINUS, 1269, p. 6).

Para identificar estes pólos, Peregrinus (1269, p. 9) aconselha que se coloque a pedra no interior de um recipiente contendo água, para que ela possa flutuar. Desta forma, a pedra girará até que seu pólo norte se alinhe com o *pólo norte do céu*, e seu pólo sul aponte para o *pólo sul do céu*. Se movimentarmos a pedra mil vezes de sua posição original, ela retornará mil vezes à mesma posição, como se fosse um *instinto natural* próprio. Depois de identificar os pólos da pedra (marcando-os ou pintando-os), Peregrinus aconselha que segure outro ímã em uma das mãos e aproxime seu pólo norte, do pólo sul do ímã que flutua na água. Observa-se que há uma força de atração entre eles, como se um desejasse “grudar” ao outro. Assim, verifica-se a lei: “o *pólo norte de um ímã atrai o pólo sul do outro, enquanto que o pólo sul atrai o pólo norte*”.

Peregrinus concebia que as *virtudes* (atração e repulsão) estão contidas no próprio minério, o qual possui dois pólos de origem natural, um *norte* e um *sul*, fixos. Estes pontos eram definidos na pedra, e segundo ele, são origem e destino dos movimentos e efeitos; limitam e regulam várias ações e propriedades da pedra. Entende-se, contudo, que não apenas um único ponto faz a força emanar do minério, mas uma *região* contida na pedra. Nestas regiões estão os *pólos* da magnetita, sendo que, segundo ele, o que a faz aderir e fluir sobre outros corpos são as denominadas *virtudes de forças* (ímpeto) (PEREGRINUS, 1269, p. 19).

Um ímã artificial pode ser produzido ao friccionar um pedaço de ferro em um ímã natural, pois a barra de ferro adquire as polaridades *norte* e *sul* (LINDSAY, 1940, p. 271). Isto pode ser notado porque o ferro magnetizado é capaz de se alinhar aos pólos terrestres e atrair pequenos objetos metálicos. Após magnetizar uma barra de ferro, se o seu *pólo sul* for apresentado ao *pólo norte* da barra ela o atrairá sem dificuldade. Da mesma forma, se a extremidade norte da pedra for aproximada ao pólo sul do ferro também haverá atração. Isto acontece porque “a *virtude do ferro* é facilmente alterada, de maneira que, o que era antes a extremidade *sul*, se tornará agora o *norte* e vice-versa” (PEREGRINUS, 1269, p. 13).

Willian Gilbert (1540-1603), médico da rainha Elizabeth I, publicou em 1600, seu livro “*De Magnete*”, que representa um dos principais tratados relacionados ao magnetismo. Uma obra de extrema relevância, uma vez que, além de tratar das características da magnetita (*magnetismo*) e diferenciá-la das propriedades do âmbar (*eletricidade*), revela as propriedades magnéticas do globo terrestre comparando-o com um ímã gigantesco²⁵. Esta descoberta, com o advento da bússola, foi de importância fundamental para as grandes navegações. Gilbert também considera que as regiões do ímã são extremamente relevantes e, em seu livro, ele as compara aos pólos terrestres²⁶ (GILBERT, 1600, p. 23).

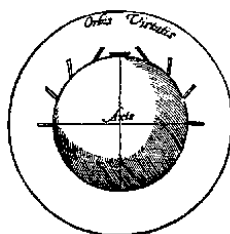


Figura 03 – *Orbis Virtutis* que representa a região da ação magnética da terra e da *terrella* (Gilbert, 1600, p. 122).

Em um trecho de seu trabalho, Gilbert compara os dois pólos da magnetita:

“Os pólos magnéticos podem ser encontrados em diversas magnetitas, [sendo] fortes e poderosos (*macho*), como o termo usado na antiguidade, ou ainda, fracos (*fêmea*) [...] o pólo de uma pedra tem maior poder de atração que parte da outra pedra que responde a ela (a adversária como é chamada), e.g., o pólo norte de uma, tem maior força de atração, tem maior vigor ao puxar a parte sul da outra; então, ela atrai ferro mais poderosamente e gruda a ele mais firmemente” (GILBERT, 1600, p. 23).

Parece-nos estranho o fato de Gilbert considerar o pólo norte *mais intenso* que o pólo sul, mesmo ele não deixando claro se está comparando duas pedras ou um único ímã. Não foi possível entender exatamente o que ele estava querendo dizer. Acredita-se que provavelmente, os pólos de uma magnetita homogênea devem ter forças de atração similares. A linguagem usada por Gilbert revela termos que implicitamente sugerem uma vontade peculiar ao ímã. Para ele, “o pólo seria o assento, o trono de um alto e esplêndido poder e

²⁵ Gilbert utiliza no estudo das propriedades magnéticas do globo terrestre uma poderosa magnetita, dura, homogênea e de tamanho conveniente, que foi lapidada como uma pedra preciosa, a fim de obter a forma de uma esfera semelhante a *terra mãe*. Um pequeno corpo natural dotado de propriedades capazes de esclarecer e trazer os *mistérios escondidos do nosso planeta ao conhecimento da humanidade*. Esta pedra arredondada ele denominou *terrella*. (Gilbert, 1600, p. 23-4).

²⁶ É pertinente esclarecer ao leitor que Peregrinus considerava que a magnetita quando posta a flutuar em água se alinhava a pontos fixos no *Céu* (pólos celestes). Gilbert já concebia que estes pontos estavam localizados na *Terra* (pólos terrestres).

corpos magnéticos seriam trazidos próximos a ele” (o pólo). Entretanto, “os pólos também são preparados para desprezar, afastar de si e abandonar o que lhe é impróprio ou que lhe é estranho”. (GILBERT, 1600, p. 31).

Peregrinus (1269, p. 14) e Gilbert (1600, p. 30) relataram que ao quebrarem uma magnetita ao meio, obtiveram duas magnetitas distintas: o pólo *norte* da pedra primitiva permanece como pólo *norte*. No pedaço fragmentado e no local da ruptura obtiveram o pólo *sul*. Analogamente, o inverso ocorre na outra metade, ou seja, o pólo *sul* da pedra primitiva se mantém *sul*, e no local da ruptura aparece o pólo *norte*. Desta maneira, uma pedra ao ser quebrada transforma-se em duas magnetitas contendo um par de pólos. Sucessivamente, se continuarmos quebrando as pedras, por menor que seja o fragmento, ela continuará apresentando os pólos *norte* e *sul* e, conseqüentemente, continuará apresentando propriedades e características magnéticas.

Em suma, a história do magnetismo abordada anteriormente mostrou que o *espírito pré-científico* foi caracterizado pelo *realismo ingênuo* ao atribuir *crenças, propriedades místicas* e vários *adjetivos*, que foram destacados, para qualificar a *magnetita*. A busca pela objetividade era feita por meio da observação e da experimentação num *processo indutivo*, no qual o contato com o *real* era a forma de se conhecer o fenômeno estudado. Gilbert deixa uma dúvida “pairando no ar”: *será que o pólo norte é mais intenso que o pólo sul?*

2.1.2 O início das pesquisas sobre a eletricidade estática

No livro *De Magnete*, Gilbert (1600, p. 77) tece algumas críticas aos escritores que escrevem a respeito das propriedades de atração do âmbar. Para o autor, os escritos feitos por filósofos trazem algumas palavras que envolvem *a mais completa escuridão*, tratando o objeto de maneira *esotérica, mística* e sempre exaltando alguns *milagres*. Gilbert relatou que estes autores produzem muitos volumes destinados a *explicar as causas e maravilhas da atração elétrica*, que são ocultas e difíceis de entender, mas não trazem *demonstrações e provas experimentais* sobre o fenômeno estudado. Para observar tais fenômenos, ele sugeriu a utilização de um instrumento elétrico denominado *versorium*²⁷.

²⁷ A palavra *versorium* significa “girar-sobre” e sua aparência é muito semelhante à de uma bússola, o que é natural devido à extensa experiência de Gilbert com o estudo do magnetismo. É importante não confundir o *versorium elétrico* com a *bússola*, a qual possui uma agulha magnetizada. A agulha do *versorium* pode ser feita de qualquer tipo de metal, de madeira ou algum outro material sólido. Antes da invenção do *versorium*, o único modo de se determinar se um material atritado atrairia um objeto era colocá-lo próximo a outro corpo e observar se haveria movimento, mas Gilbert notou que objetos atritados poderiam produzir um movimento numa agulha

Faça você mesmo uma agulha giratória (eletroscópio – *versorium*), de algum tipo de metal, com três ou quatro dedos de largura, muito brilhante, e que se equilibra sobre um suporte pontiagudo com se fosse um ponteiro magnético. Trazendo próximo de uma das extremidades, um pedaço do âmbar ou pedra preciosa, levemente atritada, polida e brilhante: o instrumento gira (GILBERT, 1600, p. 79).

Por meio de seus experimentos ele concluiu que a eletricidade atrai *qualquer tipo de objeto*, seja ele sólido ou líquido. Ele disse que “estes diversos corpos (*elétricos*)²⁸ não apenas atraem para si palhas e cascas de sementes, mas todos os metais, madeiras, pedras, terras, bem como, a água e o óleo; resumindo, qualquer coisa que *ative nossos sentidos* ou que sejam sólidos” (GILBERT, 1600, p. 78).

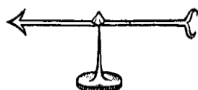


Figura 4 - versorium

Francis Hauksbee (c. 1660-1713) iniciou seus estudos sobre fenômenos ópticos e, a partir daí, começou a estudar eletricidade. O fenômeno do mercúrio luminescente, também chamado de “luz barométrica” atraiu sua atenção: quando um barômetro de mercúrio era agitado no escuro apareciam pontos de luminosidade, *flash* de luz, que segundo ele, era devido “a geração de eletricidade nas paredes do tubo de vidro”²⁹ (ROLLER; ROLLER, 1957, p. 559-61; WOLF, 1999, p. 213). Hauksbee construiu uma *máquina eletrostática* simples, que consistia em um globo de vidro com vinte e dois centímetros de diâmetro, selado, onde era

leve centralmente posicionada sobre uma ponta fina, mesmo que não fosse capaz de levantar ou atrair objetos pequenos e leves. Desta forma, o *versorium* é um sensível dispositivo para detecção de força de origem elétrica. O nome atual genérico para este dispositivo é *eletroscópio*. (ROLLER; ROLLER, 1957, p. 549-50).

²⁸ *Não-condutores ou elétricos*: também chamados de elétricos *per se*, têm a característica de, quando atritados com outros materiais, geralmente lã, seda ou pele, apresentarem uma força elétrica capaz de atrair ou repelir objetos leves. Dependendo da força, eles podem emitir faíscas e estalidos. *Condutores ou não-elétricos*: são materiais que podem ser excitados por atrito (desde que isolados eletricamente). Eles podem, nestas circunstâncias, conduzir os efeitos elétricos de um corpo para outro. (ELECTRICITY, 1798, p. 420.)

²⁹ A idéia de que poderia existir uma relação entre o *efeito do âmbar* e a *luz barométrica* pode ter ocorrido a Hauksbee no verão de 1706. Ele realizou um experimento em que verificou a *extraordinária eletricidade do vidro*. O experimento consistiu em atritar com papel um tubo de vidro fino e oco, de aproximadamente uma polegada de diâmetro e trinta polegadas de comprimento, então, ele aproximou o tubo atritado de pequenas lâminas de bronze (limalhas), as quais foram atraídas repentinamente “saltando” em direção ao tubo. Segundo Hauksbee, o *eflúvio do tubo* elétrico alcançou as lâminas a cerca de nove ou dez polegadas de distância. Algumas vezes as lâminas aderiam ao tubo e em outras elas rebatiam e eram atiradas para longe. Hauksbee merece destaque por ter iniciado experimentos com a crença de que eletrização por atrito e produção de luz por atrito estavam de algum modo relacionadas. (ROLLER; ROLLER, 1957, p. 564).

possível fazer um vácuo parcial. O globo (ou um tubo de vidro) era preso a um eixo que era acoplado a uma manivela. Por meio da manivela era possível girar rapidamente o globo e atritá-lo com a mão ou lã, o atrito nas paredes do globo produzia, além da luminescência, uma “*finá luz violeta*” que ele atribuiu à descarga de “*effluvia*” úmido. Por meio da observação do fenômeno produzido por sua máquina, ele chegou a duas conclusões: a luminosidade se mantinha enquanto houvesse movimento e diminuía com a admissão de ar no interior do tubo. (WOLF, 1999, p. 214-5). Estes experimentos sugeriam que de alguma forma, pudesse existir uma relação entre a *eletricidade* e a *luz*. No entanto, na época não havia *fundamentos teóricos* que sustentassem esta hipótese.

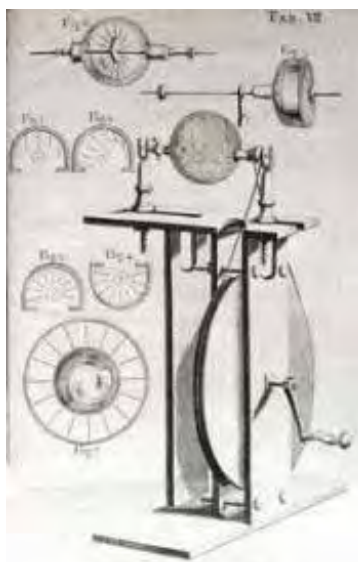


Figura 5 – máquina elétrica de Francis Hauksbee³⁰

As primeiras observações sobre a condução de eletricidade parecem ter sido feitas por Otto von Guericke (1602-1686). Contudo, foi Stephen Gray (1666-1736) que descreveu explicitamente este fenômeno e, que, distinguiu experimentalmente corpos *isolantes* e *condutores*³¹. Gray pegou um tubo de vidro e tampou as duas extremidades com rolhas de cortiça para evitar a entrada de poeira quando estivesse guardado. Ao friccionar o tubo, percebeu que além do tubo, a rolha também atraía uma pena colocada em suas proximidades. Ora, se ao friccionar o tubo a rolha também atraía a pena, era indícios de que poderia ter

³⁰ Fonte: http://www.geocities.com/bioelectrochemistry/hauksbee_elder.html

³¹ Cabe esclarecer que Gilbert já havia distinguido experimentalmente os corpos *elétricos* (que atraem ao serem atritados, como por exemplo, o âmbar) e corpos *não-elétricos*. Gray distinguiu experimentalmente os corpos *condutores* (que permitem o fluxo de eletricidade através deles) e os corpos *isolantes*.

havido transmissão de eletricidade do tubo para a rolha. Os experimentos de Gray objetivavam verificar o quão distante a virtude elétrica do tubo podia ser comunicada, por meio da polarização³² de corpos condutores. Então, primeiramente ele encaixou uma vareta de madeira em uma esfera de marfim e observou que ao introduzir a vareta de madeira na rolha, a bola de marfim também atraía a pena. Utilizando barbante como fios de condução e fios de seda como suporte, verificou que o barbante conduzia a eletricidade, diferentemente da seda (*figura 6*) (GRAY, 1731). J. T. Desaguliers (1683-1744) continuou o trabalho de Gray após sua morte, denominando uma classe de materiais como *condutores* e, os demais, como *não-condutores de eletricidade* ou isolantes. (ELLIOTT, 1988, p. 807). Stephen Gray também realizou experimentos sobre a eletrização da água (GRAY, 1732). Gray (1732) apresenta dois experimentos sobre este tema. No primeiro experimento, Gray movimenta o tubo de vidro eletrizado em cima e embaixo de uma vasilha contendo água, em seguida, aproxima uma linha de algodão da superfície da água e verifica que a linha é atraída ou repelida. No segundo experimento, Gray aproxima o tubo eletrizado da superfície da água e verifica que se forma uma “pequena montanha” de água, cuja ponta emite faíscas e estalidos (BOSS e CALUZI, 2007, p. 637-38). Assim, além da luz, o *som* podia ter alguma relação com a eletricidade. Em nossa opinião, os trabalhos de Gray são relevantes nos seguintes aspectos: primeiro, mostrou que a eletricidade podia ser conduzida de um ponto ao outro e; segundo, sugeriu que a água podia ser eletrizada.

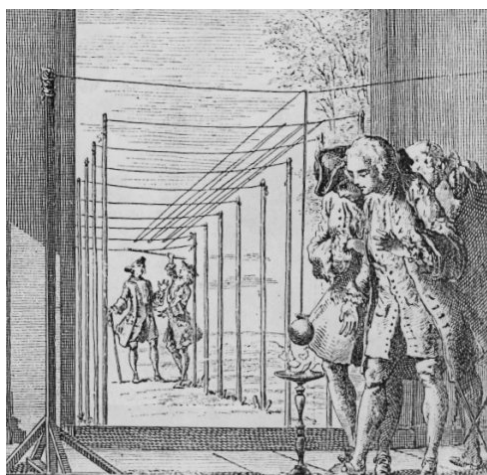


Figura 6 – Experimento feito por Gray sobre a condução da eletricidade³³.

³² Este é o termo empregado atualmente pela comunidade científica. Gray utilizava os termos *transmissão* ou *comunicação* da eletricidade.

³³ Fonte: <http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/18e/gray/>

Charles François Du Fay (1698-1739) apresentou os resultados de seus experimentos à *Académie des Sciences*³⁴ e, uma síntese do seu trabalho foi publicada em uma carta no periódico *Philosophical Transactions of the Royal Society*³⁵. Na sua *quarta memória* publicada em 1733, ele apresenta dois princípios importantes para o estudo da eletricidade: no primeiro, um corpo carregado é capaz de transmitir eletricidade a um corpo neutro pelo mecanismo *atração, comunicação e repulsão* (ACR), e em seguida ambos se repelem; o segundo princípio afirma que existem *dois tipos diferentes de eletricidade*, apresentando a teoria dos dois fluidos, as quais ele denominou de eletricidade *vítrea* e eletricidade *resinosa*; sendo que, corpos de mesma eletricidade se repelem e corpos de eletricidades diferentes se atraem. Além disso, Du Fay toma conhecimento do processo de eletrização por influência (indução), ou seja, sem o contato direto entre os corpos que interagem. Ele também eletriza a água e diz que todos os corpos podem ser eletrizados, sem exceção, seja ele sólido ou fluido (BOSS; CALUZI, 2007). Mais tarde, John Canton (1718-1772) mostrou que um corpo podia adquirir eletricidade *vítrea* ou *resinosa*, por atrito, dependendo da natureza do tecido com o qual se atrita o corpo (HEILBRON, 1976, p. 12). Recapitulando, o primeiro princípio de Du Fay sugere que corpos eletrizados sofrem *repulsão*, o que até então não era considerado. O segundo princípio sugere a presença de dois tipos de eletricidade (*vítrea* e *resinosa*), análogo ao magnetismo que era concebido a partir da presença de duas polaridades diferentes (*norte e sul*).

Em 1747, Benjamin Franklin (1706-1790) desenvolveu a teoria do *fluido único*. Ele concluiu que “só existia um tipo de fluido elétrico (a eletricidade *vítrea*), ao invés de dois como se admitia até então, e dois tipos de eletrização: uma como a do *vidro* e outra como a do *âmbar*” (BELÉNDEZ, 2008, p. 3). Ele propôs que “*um corpo estava eletricamente neutro quando o fluido interno e externo ao corpo estava em equilíbrio, mas se contivesse mais ou menos fluido do que a sua quantidade normal, o corpo deveria apresentar-se eletrificado de uma forma ou de outra – positivamente para um excesso e negativamente pela falta do fluido*” (WATSON, 1750, p. 98). Franklin utilizava os termos *eletrizado mais* e *eletrizado menos* em detrimento dos termos *positivamente* e *negativamente*, que são utilizados hoje em dia. Franklin também descreveu um experimento feito na Filadélfia, no qual por meio de uma *pipa* feita de gravetos e lenço de seda, era possível extrair o “fogo elétrico” das nuvens que

³⁴ Academia Francesa de Ciências.

³⁵ Trabalhos Filosóficos da Sociedade Real.

percorria a linha da pipa³⁶. No final, era colocada uma fita de seda (isolante), onde o experimentador podia segurar, sem que levasse choque. Entre a linha e a seda é fixada uma chave.

Por esta chave, a pilha (garrafa de Leiden) pode ser carregada; e através do fogo elétrico obtido, espíritos podem ser mortos, e todos os outros experimentos serem executados, como aqueles que são geralmente feitos com a ajuda de um globo ou tubo de vidro atritado e, desta forma, a semelhança entre a matéria elétrica (eletricidade artificial) com aquela dos raios é totalmente demonstrada (FRANKLIN, 1752).

Este foi um dos grandes feitos de Franklin. Ele sugeriu que raios são tipos de descargas elétricas semelhantes às faíscas³⁷ provenientes de uma garrafa de Leiden³⁸, que diferem apenas em intensidade, mas não em qualidade.



Figura 7 – Experimento da pipa elétrica de Franklin³⁹

³⁶ Franklin descreveu este experimento, no entanto, existem dúvidas se foi ele próprio quem o realizou. Para mais detalhes ver (SILVA, PIMENTEL; 2006).

³⁷ É interessante notar como a faísca elétrica despertava interesse dos cientistas do final do século XVIII e início do século XIX. Franklin em carta a Peter Collinson escreveu: “eu tenho ouvido falar que alguns de seus eletricitistas europeus não foram capazes de incendiar pólvora pela chama elétrica. Nós fazemos aqui desta maneira: um pequeno cartucho é cheio com pólvora seca, fortemente socada, a fim de quebrar alguns de seus grãos. Dois fios pontiagudos são então introduzidos em cada uma das extremidades. As pontas ficam próximas uma da outra na metade do cartucho ainda a distância de meia polegada. Então, o cartucho é colocado em um circuito, quando quatro jarras [garrafas de Leiden] são descarregadas, a chama elétrica salta da ponta de um fio à extremidade do outro [fio], dentro do cartucho e entre a pólvora. O fogo e a explosão da pólvora acontecem no mesmo instante que o estampido da descarga [elétrica]” [FRANKLIN, 1751, p. 291].

³⁸ Dispositivo utilizado na época, análogo ao capacitor, cuja função básica era armazenar a eletricidade gerada por atrito para ser posteriormente utilizada.

Wolf (1999, p. 231) relaciona algumas correspondências entre os raios e as descargas elétricas:

- A luz e o som possuem uma causa única, sendo praticamente instantâneos;
- A faísca, assim como o raio, pode incendiar corpos;
- Ambos podem matar criaturas;
- Eles causam danos mecânicos, dando um cheiro de enxofre queimado (descoberta que mais tarde permitiu a identificação da camada de ozônio);
- O raio e a eletricidade se descarregam, mais facilmente, por formas pontiagudas;
- Ambos são capazes de destruir o magnetismo, ou ainda, inverter a polaridade do ímã⁴⁰;
- Ambos são capazes de fundir os metais.

Na época houve muitas tentativas em coletar a eletricidade atmosférica. John Canton escreveu a Watson: “Eu tive ontem, por volta das cinco horas da tarde, uma oportunidade de realizar o experimento do Sr. Franklin de extrair fogo elétrico das nuvens (...), recebi a faísca a uma distância de aproximadamente meia polegada, e a vi distintamente” (WOLF, 1999, p. 234). Os experimentos de Franklin sugeriram a idéia de usar pára-raios para proteção de casas, edifícios, igrejas, navios, etc.

Em 1759, Robert Symmer (1707-1763) apresentou uma teoria diferente da concepção de Franklin “ao descrever a existência de dois diferentes estados elétricos e postulando *dois fluidos elétricos* distintos” (HEILBRON, 1976). Symmer tinha o hábito de usar dois pares de meias de seda (uma preta e outra branca) na mesma perna. Ao retirá-las durante a noite, observou estalidos seguidos de faíscas semelhantes às descargas de garrafas de Leiden e, associou isto a fenômenos elétricos. Ele postulou que “*um corpo carregado positivamente possui uma predominância de determinado tipo de eletricidade, e carregado negativamente possui a predominância de outro tipo, enquanto um corpo neutro os efeitos dos dois fluidos presentes balanceia-se uns aos outros*” (ELLIOTT, 1988, p. 806).

Analisando a história da eletricidade em função de suas teorias, podemos dizer que a teoria de Du Fay, apesar de defender a presença de dois fluidos, considerava estes fluidos

³⁹ Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Benjamin_Franklin

⁴⁰ Veremos os efeitos de descargas elétricas sobre agulhas (magnéticas ou não) na próxima seção.

dependentes do material eletrizado. Franklin propôs a presença de um fluido único e o corpo poderia estar eletrizado com excesso (*mais*) ou com falta de fluido (*menos*). Aliás, os termos positivos e negativos utilizados pela teoria aceita atualmente advêm da teoria de Franklin. A teoria aceita pela comunidade científica se aproxima mais da teoria proposta por Symmer que advoga a presença de dois fluidos, de acordo com o que foi explicitado anteriormente. Diante das teorias desenvolvidas na trajetória histórica, não podemos condená-las, mas exaltá-las, visto que em sua época, elas foram capazes de explicar os fenômenos de maneira adequada e contribuíram para formação dos conceitos. Pode-se dizer que, a teoria atual consiste em *retificações* das teorias antecedentes.

2.1.3 Semelhanças e diferenças entre *eletricidade* e *magnetismo*

Benjamin Franklin chegou a conclusão de que os raios consistem em descargas elétricas semelhante às aquelas provenientes das garrafas de Leiden. Em uma carta enviada ao seu amigo Peter Collinson, ele relatou que as agulhas das bússolas do navio do capitão Waddel, ao serem atingidas por raios em dias tempestuosos, perderam a virtude da magnetita ou os seus pólos foram invertidos.

A bússola dele [capitão Waddel] *perdeu a virtude* da magnetita, ou os pólos foram invertidos: o pólo *norte* tornando-se *sul*. Pela eletricidade nós temos dado aqui [na Filadélfia], polaridades às agulhas [da bússola] e as invertido com facilidade. O Sr. Wilson tentou com uma pequena força. Uma descarga de quatro grandes jarras de vidro [garrafas de Leiden] grandes, enviadas a uma agulha fina de costura dá a ela, polaridade, e ela se *alinhará* quando posta [para flutuar] sobre a água (FRANKLIN, 1751, p. 289).

Este relato de Franklin sugeria que de alguma forma poderia haver uma relação direta entre *eletricidade* e *magnetismo*. Sendo assim, uma das formas de se buscar esta relação, seria fazer com que descargas elétricas provenientes de garrafas de Leiden atravessassem as agulhas das bússolas longitudinalmente. Posteriormente, Franklin descobriu que não era exatamente a eletricidade, mas o calor gerado pelas descargas, que mudava as características da agulha magnética (MARTINS, 1986, p. 93).

Um exemplo mais elaborado sobre a equivalência e similaridade entre eletricidade e magnetismo diz respeito ao artigo intitulado “*Sobre os experimentos eletro-magnéticos dos Srs. Ørsted e Ampère*”, publicado em 1821, por Jean-Nicolas-Pierre Hachette (1769-1834). Neste trabalho ele comentou o experimento realizado por ele e pelo físico e químico francês Charles-Bernard Desormes (1777-1862) que, em 1805, construíram uma enorme bateria

elétrica e a puseram sobre um bote para flutuar em um enorme tonel, na tentativa de verificar se a Terra possuía pólos elétricos, assim como ela possui o meridiano magnético:

“Ritter⁴¹ concluiu (*Journal de Physique*, t. 57, ano 1803) a partir de alguns experimentos, que até agora não foi verificado que a Terra tem pólos elétricos, como ela tem o meridiano magnético. O Sr. Desormes e eu tentamos em 1805, determinar a direção que uma pilha elétrica horizontal adquiria [...]. Composta de 1480 placas de cobre, envolvidas com zinco, (...). Nós colocamos esta pilha sobre um [pequeno] bote, que flutuou na água de um [enorme] tonel. Nós sabíamos que uma barra de aço magnetizada, com peso aproximadamente igual ao da pilha, quando colocado sobre o bote, giraria, depois de algumas oscilações, em direção ao meridiano magnético. A pilha, colocada na mesma situação, não adquiriu nenhuma direção determinada” (HACHETTE, 1821, p. 43).

O experimento de Franklin evidenciava que deveria haver relação entre a eletricidade e o magnetismo. Por outro lado, o experimento de Hachette e Desormes refutava a hipótese de haver pólos elétricos na Terra. A questão era: existe relação entre estas ciências? Se sim, de que forma ocorre esta relação? Isto era o que alguns cientistas buscavam incessantemente conhecer.

No magnetismo, a exemplo do que aconteceu na eletrostática, Aepinus tentou introduzir a teoria do único fluido, tal como feito por Franklin (TRICKER, 1965, p. 05). Entretanto, a teoria dos dois fluidos magnéticos foi adotada por Charles Augustin Coulomb (1736-1806), sendo que, os fluidos foram denominados, *austral* e *boreal*, ou, pólos norte e sul magnético, respectivamente. Coulomb adotou a idéia dos dois fluidos para explicar o porquê um ímã, ao ser quebrado em dois, *torna-se dois novos ímãs*, cada um contendo um par de pólos, ao invés de duas metades, cada uma com um pólo simples (ELLIOTT, 1988, p. 811). Por meio desta hipótese, experimentalmente, é impossível se obter pólos isolados.

Segundo Wolf (1999, p. 245-49), Coulomb foi atraído pelas pesquisas sobre *eletricidade e magnetismo* devido a um prêmio oferecido, pela Academia, ao melhor método de construção de bússolas náuticas. Por volta de 1784, ao investigar a rigidez dos materiais, ele desenvolveu um aparelho denominado *balança de torção*. No entanto, existe a possibilidade deste aparelho ter sido inventado por John Michell (1724-1793) antes de Coulomb. Embora não se possa afirmar a prioridade da descoberta, não se acredita que dois homens tenham chegado à invenção deste mesmo instrumento independentemente. O importante é que, as pesquisas de Coulomb sobre as repulsões e atrações elétricas foram feitas por dois métodos independentes. No primeiro, com a balança de torção Coulomb descreveu

⁴¹ Johan Wihelm Ritter (1776 – 1810).

em 1784, nas *Mémories de l'Académie Royale des Sciences*⁴², a repulsão entre esferas eletrificadas. Em um segundo artigo, publicado em 1785, ele descreveu a lei da atração elétrica ao fazer uma agulha contendo uma esfera carregada fixa na extremidade, oscilar sobre sua posição intermediária a várias distâncias da esfera eletrificada e, mediu seus períodos de oscilação. Com estes métodos ele enuncia a lei fundamental da eletricidade: “*a força repulsiva entre duas pequenas esferas eletrizadas com o mesmo tipo de eletricidade é na razão inversa do quadrado da distância entre os centros das esferas*”. (COULOMB, 1785, p. 572). As investigações de Coulomb, análogas àquelas feitas com a eletricidade, foram utilizadas para descrever a lei de força magnética. De maneira semelhante ao que acontece na gravitação e na *eletrostática*; na *magnetostática* ela também obedece à *lei do inverso do quadrado da distância* (WOLF, 1999, p. 245-49). Esta concepção, de Coulomb, vai ao encontro da concepção de *ação a distância* newtoniana.

Podemos notar que, existem algumas similaridades entre os fenômenos da eletrostática e da magnetostática. Ambas são caracterizadas pela teoria dos dois fluidos e elas obedecem às leis de forças similares à teoria gravitacional. Isto levava os cientistas a pesquisarem como as ciências da *eletricidade* e do *magnetismo* poderiam estar relacionadas. Além disso, estas ciências possuíam algumas peculiaridades as quais convém ressaltar (ELLIOTT, 1988, p. 811; TRICKER, 1965, p. 05):

- A força elétrica é geralmente fraca, atraindo apenas objetos leves, diferentemente da força magnética que possui um maior poder de atração;
- Na eletrostática os corpos precisam ser atritados e possuem uma ação temporária, enquanto que, a ação magnética é intrínseca ao material e possui uma ação permanente;
- Corpos eletrizados interagem com uma ampla gama de corpos, incluindo fluidos ou líquidos. Corpos magnéticos interagem apenas com substâncias magnetizáveis;
- A ação elétrica pode ser bloqueada com a interposição de telas metálicas; o magnetismo age com a interposição de papéis, madeira e ainda com corpos imersos em água;
- Cargas elétricas podem ser isoladas, no entanto, não existe monopólo magnético;
- Na eletricidade existem corpos condutores e isolantes, não havendo algo similar no magnetismo;

⁴² Memórias da Academia Real das Ciências.

- No magnetismo podemos orientar corpos em uma direção definida, não havendo similaridade na eletricidade.

A *eletricidade* e o *magnetismo* foram considerados ramos de estudos distintos. Um período caracterizado por uma *forte tendência empírica*. Na medida em que o conhecimento científico se estruturava, as questões científicas passavam a guiar as investigações, que por sua vez, reformulavam as perguntas. O *processo dialético* entre *razão* e *experiência* caminha em direção a um racionalismo crescente. Neste sentido, Coulomb foi o pioneiro a sugerir um *formalismo matemático* que unificasse as leis de *forças elétricas* e *magnéticas*.

2.2 A descoberta⁴³ do *eletromagnetismo*: o experimento de H. C. Ørsted

Antes do início do século XIX, como vimos, havia evidências a favor e contrárias a idéia de interação entre estas duas ciências: a *eletricidade* e o *magnetismo*. Franklin havia relatado que agulhas de bússolas ao serem atingidas pelo fogo elétrico (faíscas elétricas) perdiam suas propriedades magnéticas e, que agulhas de costura, ao serem percorridas pela eletricidade proveniente de garrafas de Leiden, adquiriam tais propriedades se alinhando ao campo magnético terrestre quando postas para flutuar em um recipiente contendo água. Por outro lado, Hachette e Desormes colocaram uma enorme bateria elétrica em um bote e o puseram a flutuar em um tonel para ver se a bateria se alinhava aos pólos elétricos da Terra, assim como, um ímã se alinhava ao meridiano magnético (HACHETTE, 1821, p. 43). No entanto, assim como outras tentativas, eles não obtiveram sucesso.

Havia algumas evidências de que a eletricidade se manifestava sob a forma de *luz* e *calor*. As descargas elétricas produziam faíscas e objetos atingidos por estas descargas apresentavam uma elevação de temperatura. Em 1800, Alessandro Volta (1745-1827), propôs a construção de uma pilha voltaica ou bateria elétrica. Este novo aparelho se assemelhava às antigas garrafas de Leiden, sendo que sua característica primordial era a de impor uma “ação perpétua ou impulsão ao fluido elétrico”, pois sua energia podia ser restabelecida após cada descarga. A bateria voltaica era composta de discos metálicos de cobre, latão ou prata (semelhantes a moedas) e igual número de discos de estanho ou zinco (aproximadamente da mesma forma e tamanho) intercalados por discos de papelão, couro ou outro material

⁴³ A palavra *descoberta* possui uma série de implicações epistemológicas que não serão discutidas neste trabalho, pois foge ao seu escopo. Nele, utilizaremos o seguinte significado: “produção de uma nova síntese de idéias e, especialmente, combinação de novos meios com vista a um fim” (LALANDE, 1999, p. 597).

absorvente, umedecidos em salmoura ou solução ácida. Volta colocou sobre a mesa, por exemplo, um disco de prata, colocando sobre ele um disco de zinco; sobre este segundo disco ele colocou um disco umedecido; então, novamente um disco de prata, um disco de zinco e entre os pares, novamente outro disco umedecido e assim sucessivamente. Por meio destes passos, formou-se uma coluna tão alta quanto possível, sem que ela caísse (VOLTA, 1800, p. 289)⁴⁴. Com a descoberta da bateria elétrica, Volta mostrou que por meio do contato entre metais diferentes era possível produzir a eletricidade. O século XVIII foi um período marcado pelas concepções de que a eletricidade estava estritamente ligada aos efeitos da luz e do calor. Se por um lado estas idéias guiaram os filósofos naturais em suas pesquisas, dando “passos” importantes no desenvolvimento científico e assuntos relacionados aos fenômenos eletromagnéticos, por outro, elas retardaram o início da eletricidade dinâmica e, conseqüentemente, a gênese do *eletromagnetismo*.



Figura 8 – Bateria elétrica desenvolvida por Alessandro Volta⁴⁵

A unificação entre a *eletricidade* e o *magnetismo* só ocorreu em 1820 quando o cientista dinamarquês, professor da Universidade de Copenhague, Hans Christian Ørsted⁴⁶ (1777-1851), em um curso sobre eletricidade, galvanismo e magnetismo, diante de uma audiência familiarizada com os princípios da filosofia natural, colocou a agulha imantada de uma bússola próxima a um fio conduzindo corrente e, verificou que esta interação produzia um torque na agulha magnética. Este torque provocava inclinações de 45° ou menos,

⁴⁴ Uma tradução comentada do artigo de Volta pode ser encontrada em MAGNAGHI e ASSIS (2008).

⁴⁵ Fonte: http://www.ieee.org/portal/cms_docs_iportals/iportals/aboutus/history_center/milestones/volta.jpg

⁴⁶ Hans Christian Ørsted (1777-1851) cientista dinamarquês, professor da Universidade de Copenhague e Secretário Vitalício da Academia de Ciências de Copenhague

dependendo da distância entre a agulha da bússola e o fio condutor. Nas palavras de Ørsted: “Parece demonstrado por estes experimentos que a agulha magnética foi movida de sua posição pelo aparelho galvânico; mas que *o circuito galvânico deve ser fechado, não aberto, método que foi tentado em vão alguns anos atrás por célebres cientistas*”. E observa que, “o conflito elétrico atua apenas sobre as partículas *magnéticas* da matéria” (ØRSTED, 1998a, p. 416-19). Este experimento importante representou a gênese de um novo campo de pesquisa: *o eletromagnetismo*. Para mais detalhes, ver (MARTINS, 1986).

Ørsted estava inserido em uma corrente filosófica germânica denominada *Naturphilosophie*⁴⁷. Ela via o universo como um todo interagente e buscava a unificação dos fenômenos da natureza como *química, luz, calor, eletricidade e magnetismo*. Ørsted era guiado por esta metafísica que concebia haver uma força fundamental que se manifestava sob as diferentes formas. Ele próprio descreve suas convicções:

Ele⁴⁸ [Ørsted] aderiu à opinião que efeitos magnéticos são produzidos pelas mesmas forças que os elétricos. Ele não foi conduzido a isto por razões comumente alegadas à opinião, mas pelo *princípio filosófico* de que todos os fenômenos são produzidos pelo mesmo poder original (ØRSTED, 1998b, p. 546).

As concepções que Ørsted tinha em relação à corrente elétrica era de um duplo fluxo de eletricidade em sentidos opostos, ou seja, “uma sucessão de interrupção e restabelecimento do equilíbrio, de forma que, as forças elétricas estavam em estado de conflito permanente”. Em 1813, ele já suspeitava que a corrente elétrica pudesse interagir com um ímã, tal como é evidenciado nesta passagem do texto *Pesquisa sobre a identidade das forças químicas e elétricas*: “deve ser determinado se a eletricidade em seu estado mais latente exerce alguma ação sobre um magneto” (ØRSTED, 1998a, p. 546). Ørsted considerava que a produção de calor e luz por meio da corrente elétrica em um fio metálico fino era uma evidência de que calor e luz tinham uma profunda relação com a eletricidade (ØRSTED, 1986, p. 116). Ele imaginou que para manifestar também os efeitos magnéticos, era necessário que o aparelho utilizado fosse forte o suficiente para incandescer um fio metálico (ØRSTED, 1820, p. 274). Diferentemente do que havia sido tentado, ele utilizou uma bateria elétrica com “circuito fechado” que poderia fornecer uma corrente elétrica constante por um intervalo maior de tempo, ao invés de descargas de garrafas de Leiden.

⁴⁷ Trata-se de uma corrente de pensamento germânica que advogava à *unidade* entre as diferentes ciências que compõe o saber. Esta concepção metafísica concebia que os fenômenos naturais como luz, calor, eletricidade e magnetismo eram produzidos pelo mesmo poder original.

⁴⁸ Ørsted escrevia na terceira pessoa do singular ao se referir a si próprio.

Ao tratar da analogia entre *eletricidade* e *magnetismo*, Ørsted imaginou que o efeito magnético poderia irradiar do fio como luz e calor e, que “se fosse possível produzir algum efeito magnético pela eletricidade, isto não poderia ser na direção da corrente, pois isto tinha sido tentado em vão, mas que, deveria ser produzido por uma ação lateral”. Portanto, “como o efeito luminoso e o calor da corrente elétrica saem em todas as direções do condutor, que transmite uma grande quantidade de eletricidade; então ele [Ørsted] pensou ser possível que o efeito magnético poderia irradiar de maneira semelhante [do fio]” (ØRSTED, 1998a, p. 546).

O primeiro experimento diante do público foi feito no mês de abril de 1820, com um pequeno aparelho galvânico, comumente usado em suas experiências. A agulha magnética sofreu um distúrbio, porém, o efeito foi pouco intenso e o experimento não causou forte impressão na platéia. Três meses depois, em julho de 1820, Ørsted repetiu o experimento, agora com um aparelho galvânico mais poderoso.

“O sucesso foi agora evidente, o efeito ainda foi fraco na primeira repetição do experimento, porque ele [Ørsted] empregou apenas fios muito *finos*, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando *calor e luz* não fossem produzidos pela corrente galvânica, mas então, encontrou que condutores com diâmetro maior dão melhores efeitos” (ØRSTED, 1998b, p. 547).

Após escrever detalhadamente suas observações, Ørsted esclarece que o conflito elétrico não está confinado apenas no condutor, mas está disperso no espaço subjacente. Para ele, o conflito realiza círculos que combinado ao movimento progressivo ao longo do fio, forma uma linha helicoidal ao seu redor. Como ele considerava dois fluxos de eletricidade em sentidos contrários, ou seja, cargas positivas e cargas negativas se movendo em direções opostas ao longo do fio, isto o levou a supor que, a eletricidade negativa se moveria em sentido horário e atuaria sobre o pólo norte, mas não sobre o sul. De maneira similar, ele explicou que a eletricidade positiva moveria em sentido contrário, atuando apenas sobre o pólo sul, mas não sobre o pólo norte (ØRSTED, 1820, p. 276).

O experimento realizado por Ørsted foi diferente daquele realizado por Franklin. Ao invés de descarregar garrafas de Leiden através de uma agulha imantada que a percorre longitudinalmente, Ørsted utilizou uma bateria elétrica ligada a um fio condutor posicionando a agulha imantada no espaço subjacente. Ele utilizou fios finos, que pela passagem da corrente elétrica ficavam rubros e aquecidos. Ørsted imaginava que havendo a presença de *luz* e *calor* era mais provável encontrar a relação procurada. No entanto, foi um *erro* pensar assim, pois fios mais grossos produzem efeitos melhores. A interpretação de Ørsted em relação ao conflito elétrico atuando nas adjacências do fio, não é similar a concepção de

campo magnético atual, mas foi de fundamental importância para novas teorias que vieram a surgir.

2.2.1 As versões da descoberta por acaso

O relato feito por Ludwig Wilhelm Gilbert (1769-1824) editor da *Annalen der Physik*⁴⁹ sobre a descoberta de Ørsted foi uma das primeiras interpretações da descoberta do eletromagnetismo como uma versão accidental. Ele admitiu ter dificuldade no entendimento da descrição em latim feita por Ørsted (STAUFFER, 1953, p. 308). Agassi disse que para Ludwig Gilbert “a descoberta foi puramente accidental, e que, Ørsted falhou durante anos para encontrar a relação entre eletricidade e magnetismo e ‘topou’ com ela durante uma conferência pública” (AGASSI, 1963, p. 67).

A versão mais conhecida, e que, segue esta linha de interpretação, é aquela amplamente difundida nos livros didáticos de física, baseada em uma carta escrita por Christopher Hansteen (1784-1873) a Michael Faraday (1791-1867) em 1857, ou seja, trinta e sete anos depois da descoberta e logo após a morte de Ørsted. Hansteen foi um dos assistentes de Ørsted e fazia parte da platéia que presenciou o experimento, embora Stauffer (1953) e Agassi (1963) contestem isso, dizendo que Hansteen pode não ter sido testemunha ocular do experimento de Ørsted como ele próprio afirma. Em sua correspondência, Hansteen relata que inicialmente Ørsted colocou a agulha magnética perpendicular ao fio condutor sem notar movimentos perceptíveis. Em seguida, utilizando uma bateria galvânica potente e colocando a agulha paralela ao fio, ele e o público ficaram perplexos ao verem a agulha se movimentar rapidamente e posicionar-se em ângulo reto com o fio condutor. Após inverter o sentido da corrente, verificou-se que a agulha da bússola se movia em direção contrária (MARTINS, 1986, p. 97; KIPNIS, 2005, p. 03).

De fato, quando a corrente é invertida produz-se um campo magnético em sentido contrário e, conseqüentemente, o deslocamento da agulha da bússola é invertido. Porém, não há relatos na obra de Ørsted que nos levem a concluir que ele realmente tenha invertido o sentido da corrente perante o público. O que pode ser encontrado em seus trabalhos, é que ele toma como referência a extremidade da agulha mais próxima ao terminal negativo do aparelho galvânico, sendo que, esta extremidade se desvia para oeste quando a bússola está acima do fio de conexão e para leste se estiver abaixo dele (ØRSTED, 1986).

⁴⁹ Anais de Física.

Finalmente, Hansteen termina sua carta reforçando a versão de que a descoberta do eletromagnetismo foi acidental e que Ørsted não tinha conhecimentos prévios que o pudessem conduzir à descoberta. “Há razão em dizer que [Ørsted] tropeçou em sua descoberta por acaso. Assim como os outros [ele] não teve idéia alguma de que a força poderia ser transversal”⁵⁰. Hansteen chama Ørsted de “um péssimo experimentador” que “não sabia manipular instrumentos” e, segundo Stauffer, esta descrição deve ser considerada criticamente (STAUFFER, 1953, p. 310). Como foi descrito anteriormente, Ørsted imaginou que o efeito magnético, assim como luz e calor, podia se irradiar do fio e, poderia ser produzido por uma ação lateral saindo do fio em todas as direções.

2.2.2 A interpretação da descoberta do *eletromagnetismo*

O experimento de Ørsted representou uma das mais importantes e fundamentais descobertas científicas: o *eletromagnetismo*. Apesar disso, o trabalho do cientista dinamarquês costuma ser minimizado. Martins aponta que, um dos principais motivos para isto, é a versão de que a descoberta foi acidental (MARTINS, 1986, p. 89). Para Magalhães (2005) a descoberta de Ørsted não foi acidental, “como se lê infelizmente em diversos livros-textos, mas sim, o resultado de um cuidadoso e longo plano para explorar a unidade da natureza”. Para Stauffer (1953, p. 310) foi a *Naturphilosophie* sobre o pensamento científico de Ørsted que o conduziu à descoberta do eletromagnetismo e não o acaso. Stauffer considera dois tipos de *erros* relacionados a esta descoberta: o primeiro relacionado às datas e, o outro a versão acidental difundida sobre o experimento. Jean Hachette, professor da *Faculdade de Ciências de Paris*, ao discutir o trabalho de Ørsted em um artigo “*sobre os experimentos eletromagnéticos de Ørsted e Ampère*”, e ao abordar a “*pesquisa sobre a identidade das forças químicas e elétricas*” na qual Ørsted propôs uma investigação experimental sobre a ação da eletricidade galvânica sobre o magneto, infelizmente, forneceu a data de publicação erroneamente como sendo 1807 ao invés de 1813. Ele também data a descoberta como tendo ocorrido no inverno de 1819 ao invés de 1820. Elas foram repetidas nas publicações de Ampère, Faraday e Whewell (STAUFFER, 1953, p. 308).

Agassi não aceita a história de Hansteen e aponta três motivos: primeiro, a teoria de Ørsted era muito diferente das outras teorias e, ela o conduziu a introduzir a corrente elétrica em suas investigações; segundo, esta corrente não foi acidental, mas uma previsão teórica

⁵⁰ (HANSTEEN, carta enviada à Faraday, apud (MARTINS, 1986, p. 97; KIPNIS, 2005, p. 03).

feita por Ørsted; e finalmente, em relação à direção da corrente, é improvável que Ørsted tivesse persistentemente colocado a agulha perpendicular ao fio e, só então, por acidente, colocado paralelamente a ele (AGASSI, 1963, p. 69).

Alguns autores questionam: se em 1813 Ørsted já possuía a concepção teórica de que a corrente elétrica poderia interagir com um ímã, porque o eletromagnetismo só foi descoberto em 1820? Se em abril de 1820, Ørsted percebeu a pequena influência da corrente sobre a agulha imantada, porque ele demorou três meses para repetir a experiência, que só veio a ocorrer em julho de 1820? Talvez uma explicação provável para isto, é que, adepto e conhecedor da teoria newtoniana era difícil para Ørsted (e para muitos outros cientistas) conceber o problema de simetria do fenômeno. Em outras palavras, era estranho o fato da corrente provocar um torque na agulha da bússola quando esta é colocada paralela ao fio, ou seja, “*porque o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular ao redor do fio condutor*”? (ØRSTED, 1998b, p. 547). Para mais detalhes sobre o problema de simetria do fenômeno referente à experiência de Ørsted, ver (MARTINS, 1988). Convém notar que surge uma nova interpretação para a explicação da interação entre os corpos: a noção da *teoria de campo*.

2.3 O desenvolvimento de idéias posteriores

O trabalho de Ørsted, realizado em 1820, teve uma rápida divulgação e uma grande repercussão no meio científico. Vários cientistas iniciaram de imediato seus estudos nesta área e, com isto, houve um aprimoramento matemático e experimental rápido dos resultados obtidos por Ørsted. Segundo Martins (1986, p. 89), talvez esta seja uma das causas de subestimarmos o trabalho do cientista dinamarquês.

A unificação entre a *eletricidade* e o *magnetismo* era um fato mais ou menos esperado pela comunidade científica da época e, quando esta unificação ocorreu um grupo de cientistas tiveram dificuldades em aceitá-la. Isto ocorreu, principalmente, pelo fato da simetria apresentada pelo problema: *o campo magnético ao redor do fio portador da corrente*.

A descoberta de Ørsted contrariava os cânones da física newtoniana, que supunha que todas as ações à distância fossem exercidas em linha reta, na direção que une os corpos interagentes. Mas a força entre o condutor e o pólo magnético era *perpendicular* à reta que os unia (MARTINS, 1986, p. 106).

Houve várias tentativas para buscar outra solução. Há, por exemplo, a tentativa de Jakob Berzelius (1779 – 1848) que propôs a seguinte explicação: a corrente ao passar pelo condutor criaria quatro pólos magnéticos e o campo gerado por estes pólos apresentariam o aspecto de uma flor de quatro pétalas. Este modelo explicaria somente em parte a simetria apresentada pelo campo magnético de um fio percorrido por uma corrente elétrica⁵¹.

A maior repercussão da descoberta se deu na França e sua divulgação teve início com a publicação do trabalho de Ørsted nos *Annales de Chimie et Physique*⁵². Dominique François Jean Arago (1786 – 1853) assiste a reprodução do experimento Ørsted em Genebra, em 19 de agosto de 1820. De volta a Paris, ele comunica *Académie des Sciences de Paris*⁵³ a descoberta do eletromagnetismo em 04 de setembro de 1820 e, repete este experimento perante a Academia em 11 de setembro do mesmo ano. A partir daí, muitos cientistas como André-Marie Ampère⁵⁴ (1775-1836), Jean Baptiste Biot (1774-1862), Felix Savart (1791-1841) entre outros, trabalharam experimentalmente e teoricamente sobre o tema, em busca de um modelo para descrever o fenômeno da interação e da transmissão da força entre o fio condutor e a agulha imantada da bússola. Para se ter uma idéia deste fato, fizemos uma pequena cronologia dos acontecimentos apresentada no *Quadro 4*.

Quadro 4 – Síntese cronológica dos acontecimentos

04/1820	Ørsted faz sua descoberta.
19/08/1820	Arago assiste a uma repetição do experimento de Ørsted realizado por Auguste la Rive, em Genebra.
04/09/1820	Arago comunica à Academia de Ciências de Paris a descoberta de Ørsted.
11/09/1820	Arago repete o experimento de Ørsted perante a Academia.
18/09/1820	Ampère apresenta sua memória em que descreve um aparelho que mede corrente elétrica a partir de efeitos eletromagnéticos.
25/09/1820	Ampère apresenta um trabalho sobre a interação entre duas correntes elétricas.
02/09/1820	Os trabalhos lidos em 18 e 25/09 são apresentados, por escrito, à Academia Real de Ciências.
25/09/1820	Arago descreve seus experimentos em que um fio atua como ímã sobre as limalhas de ferro.
16/10/1820	Arago mostra que podemos imantar agulhas a partir de solenóides.
31/10/1820	Biot e Savart comunicam que mediram a intensidade da Força entre um longo fio com corrente e um pólo magnético.

⁵¹ Para mais detalhes ver (MARTINS, 1986, p. 102).

⁵² Anais de Química e Física.

⁵³ Academia de Ciências de Paris.

⁵⁴ André-Marie Ampère - matemático, físico e químico francês. Interpretou a experiência de Ørsted como a interação entre correntes elétricas, pois para ele a estrutura interna de um ímã era composta por correntes elétricas microscópicas.

Entre a comunicação de Arago em 19 de agosto de 1820 e o trabalho de Biot e Savart em 31 de outubro de 1820, transcorreram aproximadamente quarenta e cinco dias. Em um curto espaço de tempo as idéias evoluíram de um resultado qualitativo para um resultado quantitativo. Vamos nos deter apenas nos aspectos qualitativos.

2.3.1 A interpretação de Ampère: interações entre correntes elétricas⁵⁵.

Assim que soube da observação importante feita por Ørsted, Ampère passa a trabalhar intensamente sobre o tema, que em uma carta dirigida ao seu filho, ele se desculpa por não tê-la escrito antes, uma vez que, após tomar conhecimento sobre o experimento de Ørsted, ele revelou não ter feito outra coisa, a não ser escrever sobre suas teorias (CHAIB e ASSIS, 2007a, p. 86).

Ampère discorda totalmente da idéia sugerida por Ørsted de que existiria uma espécie de “conflito elétrico” girando ao redor de um fio e que empurrava seus pólos provocando um torque na agulha magnética. Adepto da filosofia newtoniana⁵⁶, Ampère concebe a presença de forças de *ação e reação* agindo ao longo da reta que une duas partículas: a do *fio condutor* e da *agulha imantada*.

E o sábio ilustre [H. C. Oersted] que viu pela primeira vez os pólos de um ímã transladados pela ação de um fio condutor em direções perpendiculares à direção do fio, concluiu que, a matéria elétrica girava em torno deste e empurrava os pólos no sentido de seu movimento [...]. Guiados pelos princípios da filosofia newtoniana, reduzi os fenômeno observado pelo Sr. Oersted, [...] às forças agindo sempre ao longo da reta que une as duas partículas entre as quais as forças se exercem (AMPÈRE, 1990, p. 177; CHAIB e ASSIS, 2007a, p. 92).

O fato da agulha magnética da bússola se alinhar ao meridiano magnético terrestre era consenso geral. Outro fato evidente para Ampère era que o experimento de Ørsted demonstrava que agulha magnética girava, de maneira que o pólo norte se deslocava para o lado esquerdo, tomando como referência o sentido da corrente elétrica, então, ele estabeleceu uma analogia entre estes dois fatos e, supôs que deveria haver correntes elétricas na própria Terra que seriam responsáveis pela orientação magnética da bússola. Ao imaginar um

⁵⁵ A principal obra sobre eletrodinâmica de Ampère denominada “Théorie Mathématique des Phénomènes Électro-dynamiques Uniquement Déduite de l’Expérience” encontra-se traduzida para o português e está disponível em PDF na homepage da Biblioteca do Instituto de Física da Unicamp. Ver (CHAIB, 2009).

⁵⁶ Segundo Silva e Krapas (2007, p. 472), Coulomb, Ampère e Weber se apropriaram do programa newtoniano para estabelecer suas teorias sobre os fenômenos eletromagnéticos.

observador posicionado com a face voltada para a agulha magnética recebendo uma corrente elétrica que iria dos seus pés à cabeça, ele concluiu que estas correntes seriam paralelas a linha do equador e, seu sentido seria de leste para oeste.

Se a agulha imantada de uma bússola aponta constantemente em direção ao norte orientada pela Terra e, se o experimento de Ørsted demonstra que esta mesma agulha sofre influência de uma corrente elétrica, de forma que o pólo norte (*austral*) gira à esquerda do sentido da corrente posicionando-a praticamente perpendicular ao fio, pode ser que as diferentes rochas e minerais na crosta terrestre atuem como uma pilha, gerando correntes elétricas na Terra responsáveis pelo alinhamento da bússola (TRICKER, 1965, p. 27).

Se nos dois casos, as correntes elétricas são responsáveis pelo deslocamento da agulha magnética, então, Ampère imaginou que um ímã poderia ser constituído por correntes elétricas circulando no seu interior e sobre a superfície dos ímãs.

Agora, se as correntes elétricas são a causa da ação diretriz da Terra, as correntes elétricas serão também a causa da ação diretriz de um ímã sobre outro ímã. Segue que um ímã deve ser considerado como um conjunto de correntes elétricas que ocorrem no plano perpendicular ao seu eixo, [...]. (AMPÈRE, 1820, p. 207).

De acordo com Ampère, a ação mútua entre dois ímãs obedece à lei de interação entre correntes, ao conceber sobre a superfície e no interior do ímã, correntes elétricas em planos perpendiculares ao seu eixo (AMPÈRE, 1820, p. 75).



Figura 9 – Rascunho encontrado no manuscrito de Ampère. As letras **N** e **S** correspondem ao pólo *norte* e *sul* geográfico, respectivamente⁵⁷.

⁵⁷ A. –M. Ampère. Archives de l'Académie des Science de Paris, carton 8, chemise 156. Figura também encontrada em CHAIB e ASSIS, 2007b, p. 317.

É assim que se chega a este resultado inesperado, de que os fenômenos magnéticos são produzidos unicamente pela eletricidade, e de que não há nenhuma outra diferença entre dois pólos de um ímã, a não ser a sua posição em relação às correntes que compõe o ímã, de modo que, o pólo austral seja o que se encontra a direita destas correntes, e o pólo boreal que se encontra a esquerda (AMPÈRE, 1820a, p. 76; CHAIB e ASSIS, 2007a, p. 100).

Ampère interpreta o experimento de Ørsted como *interação entre correntes elétricas*: as correntes elétricas do fio e da agulha imantada da bússola. Para Martins, (1986, p. 106), “no caso das forças entre correntes elétricas nada de estranho ocorre: as forças são dirigidas paralelamente à reta que as une e satisfaz-se assim o padrão newtoniano de explicação”.

Ao imaginar um ímã como sendo um conjunto de correntes elétricas no plano perpendicular ao seu eixo e dirigidas ao longo de curvas fechadas e concêntricas, ele imitou esta montagem encurvando um fio em formato de espiral plana. Ao fazermos passar uma corrente elétrica por esta espira, ela é fortemente atraída ou repelida pelos pólos de um ímã. Ao substituímos o ímã por outra espira, obtêm-se as mesmas atrações e repulsões, agindo à distância, dependendo do sentido no qual as espirais são enroladas e do sentido da corrente elétrica que circula por estas espirais. Assim, Ampère mostrou que duas espirais, colocadas em planos paralelos com seus eixos colineares, agem entre si sem a presença de ímãs. Uma montagem didática para se observar estes efeitos pode ser encontrada em (SOUZA FILHO *et al*, 2007). Existe uma versão para o inglês sugerindo esta mesma montagem e que pode ser consultada em (ASSIS *et al*, 2007). Foi assim, que Ampère descobriu que duas correntes elétricas interagem entre si mutuamente.

Além desta montagem, ele construiu um equipamento conhecido atualmente como “*balança de Ampère*” e observou também que, ocorre a interação entre correntes elétricas retilíneas fluindo paralelamente entre si. Podemos fazer uma analogia: diferentemente das ações elétricas comuns, em que cargas opostas se atraem e iguais se repelem; com as correntes elétricas ocorrem exatamente o contrário: correntes de mesmo sentido se atraem e em sentidos opostos se repelem.

Descobri diferenças mais notáveis ainda dispondo, em direções paralelas, duas partes retilíneas de dois fios condutores que se ligam à extremidade de duas pilhas voltaicas. Uma parte era fixa, e a outra, suspensa sobre as pontas e tornada altamente móvel por um contrapeso, que podia se aproximar ou se afastar [da primeira parte] conservando o seu paralelismo em relação à primeira parte. Observei, então que, passando ao mesmo tempo uma corrente elétrica em cada uma destas partes, elas se atraíam mutuamente quando as

duas correntes estavam no mesmo sentido e que se repeliam quando fluíam em direções opostas (AMPÈRE, 1820, p. 69).

Ele afirmou ser desnecessário utilizar duas pilhas diferentes, uma vez que, basta que os condutores façam parte do mesmo circuito para que a corrente elétrica tenha a mesma intensidade e, desta forma, possamos observar estes efeitos (AMPÈRE, 1820, p. 72). Portanto, Ampère reduziu o fenômeno da ação diretiva da Terra e da ação mútua entre dois ímãs, aos fenômenos eletrodinâmicos da interação entre elementos de correntes elétricas, ao supor que o ímã é composto por correntes elétricas microscópicas circulando perpendicularmente ao seu eixo.

Ampère provavelmente foi um dos primeiros cientistas a imaginar a estrutura da matéria constituída por partículas em movimento. Mesmo desprovido de uma teoria atômica ele advogou que no interior do ímã a matéria não é inerte, mas possui energia cinética responsável pelas propriedades atrativas e repulsivas dos ímãs.

2.3.2 O trabalho de Arago segue a mesma linha de investigação de Ampère

Dominique François Jean Arago⁵⁸ (1786-1853) assistiu em Genebra a repetição do experimento de Ørsted. De volta a Paris, ele publicou nos *Annales de Chimie et Physique*⁵⁹ uma tradução do trabalho de Ørsted. Ele comunicou esta descoberta à *Académie des Sciences de Paris*⁶⁰ em 4 de setembro de 1820 e repetiu este experimento perante a Academia em 11 de setembro (MARTINS, 1986). Arago foi adepto da concepção de Ampère e, publicou também

⁵⁸ Dominique François Jean Arago, físico francês, nasceu em 26 de fevereiro de 1786 em Estagel, um pequeno vilarejo próximo a Perpignan e, morreu em Paris em 2 de outubro de 1853. Mostrando-se decidido a ingressar na carreira militar, Arago entrou no *Colégio de Perpignan*, onde iniciou seus estudos relacionados à matemática na sua preparação para o exame de ingresso à renomada *Escola Politécnica de Paris*, com o objetivo de tornar-se oficial engenheiro. Em 1803, entrou para a Escola Politécnica, mas seus estudos não o conduziram ao seu objetivo original. No ano seguinte, começou a fazer pesquisas sobre astronomia no *Observatório de Paris*. Pierre Simon de Laplace (1749-1827), que liderava o *Observatório* e o *Bureau des Longitudes*, recrutava jovens pesquisadores formados na Escola Politécnica para pesquisas de seu interesse. Em 1806, Arago foi nomeado secretário do *Bureau des Longitudes* e enviado à Espanha junto com Biot para uma expedição geodésica. Sua operação foi interrompida pela guerra entre França e Espanha. Em junho de 1808, foi aprisionado, mas logo, escapou e após várias aventuras, ele finalmente retornou à França. De volta a Paris, em 1809, Arago passou a fazer parte das principais instituições da França. Com apenas vinte e três anos de idade, sucedeu a Jérôme Lalande (1732-1807) e foi eleito membro da *Academia de Ciências de Paris*; foi indicado para assumir a cadeira de geometria analítica da *Escola Politécnica* e, também; foi nomeado astrônomo do *Observatório de Paris*. Em 1825, Arago foi o primeiro cientista francês a receber uma medalha de honra da *Royal Society de Londres*. Após a morte de Laplace, o prestígio de Arago cresceu; ele foi eleito secretário permanente da *Academia de Ciências* e, quatro anos mais tarde, se tornou diretor do *Observatório de Paris* (SOUZA FILHO e CALUZI, 2009).

⁵⁹ *Anais de Química e Física*.

⁶⁰ *Academia de Ciências de Paris*.

no ano de 1820 nos *Annales de Chimie et Physique*⁶¹, um trabalho intitulado *Expériences relatives à l'aimantation Du fer et Du l'acier par l'action Du courant voltaïque*⁶² (ARAGO, 1820). Dentre muitos feitos na carreira de François Arago⁶³, este trabalho merece destaque não só pela sua simplicidade e clareza, mas principalmente, pela sua relevância. Na época, este trabalho mostrou que por meio da eletricidade era possível se obter efeitos magnéticos em uma barra de aço, semelhantes àqueles obtidos com um ímã comum. Desta forma, o fio enrolado em hélice apresentava polaridades e produzia os efeitos atrativos e repulsivos. Arago desenvolveu este experimento mais ou menos na sequência que será descrita a seguir.

Primeiramente, Arago ligou o fio condutor aos pólos de uma bateria voltaica. Ao fazer passar a corrente elétrica pelo fio imerso em limalhas de ferro, ele observou que algumas limalhas eram atraídas pelo fio. As limalhas permaneciam grudadas ao fio e se desprendiam tão logo a corrente elétrica cessava. Ele descartou a possibilidade desta atração ser de origem elétrica, uma vez que, limalhas de cobre, latão ou serragens de madeira não eram atraídas pelo fio. Estas atrações ocorriam à distância, ou seja, bem antes do fio encostar-se nas limalhas. Ampère sugeriu a Arago que o fio fosse enrolado em hélice, no interior do qual podia se colocar uma agulha de aço poderia dar melhores resultados; e desta maneira era possível se obter polaridades, o que pelo método de Arago não acontecia. Arago observou que ao fazer passar a corrente elétrica pelo fio, a agulha de aço recebia uma forte dose de magnetismo e o cilindro de aço passava a apresentar polaridades de acordo com as previsões teóricas de Ampère (*Figuras 10 e 11*). Arago colocou duas ou três agulhas em série enrolando o fio alternadamente, ora num sentido, ora em outro, e percebeu que a polaridades estavam de acordo com o sentido no qual o fio é encurvado. Para certificar se de que a corrente circulava pelas espiras do fio condutor e não longitudinalmente pela agulha magnética, como alguns

⁶¹ *Anais de Química e Física*, v. 15, p. 93.

⁶² *Experiências relativas à imantação do ferro e do aço pela ação da corrente voltaica*. Uma tradução comentada deste artigo pode ser encontrada em Souza Filho e Caluzi (2009).

⁶³ Os trabalhos científicos de Arago estão relacionados principalmente com o eletromagnetismo e com a teoria ondulatória da luz. Os trabalhos de Arago e Fresnel relacionados à óptica foram extremamente relevantes para o progresso da teoria ondulatória da luz (SOUZA FILHO e CALUZI, 2009). “Continuando o trabalho de H. C. Ørsted, Arago demonstrou em 1820, que uma espira cilíndrica feita de fio de cobre por meio da qual flui uma corrente elétrica, atrai limalhas de ferro assim como um ímã comum, mas que as limalhas se desprendem assim que a corrente cessa”. “Arago também mostrou em 1824, que um disco de cobre produz a oscilação em uma agulha magnética suspensa sobre ele, relatando verbalmente à *Academia de Ciências*, os resultados de alguns experimentos que ele fez, sobre a influência que metais exercem sobre a agulha magnética”. A presença do disco de cobre diminui rapidamente a amplitude de oscilação da agulha magnética, sem alterar sensivelmente o seu período, ou seja, se uma agulha magnética oscilar próximo a um disco de cobre, sua amplitude de oscilação diminui. Segundo Arago, o movimento é relativo, pois se a agulha magnética estiver parada e o disco de cobre se mover, depois de algum tempo, a agulha entra em oscilação. “Estes efeitos foram posteriormente explicados por Michael Faraday como sendo devidos ao fenômeno da indução de correntes elétricas”.

cientistas do século XVIII já haviam feito, Arago tinha a preocupação em isolar a agulha do fio condutor por meio de um tubo de vidro ou por meio de outro material isolante (ARAGO, 1820). Esta forma de utilizar a corrente elétrica e utilizar um cilindro de aço como ímã ficou conhecida como solenóide ou eletroímã e está presente em uma infinidade de equipamentos modernos.

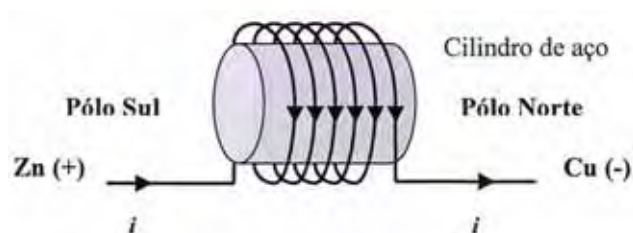
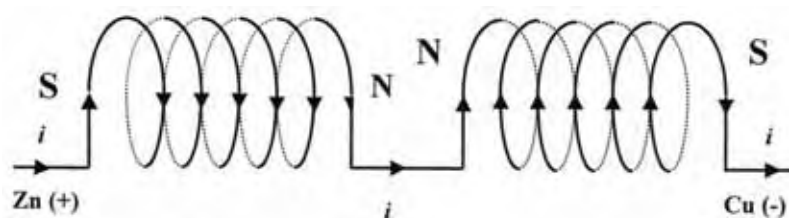


Figura 10 – Representação das espiras de Arago com núcleo de aço.



(a) Vista longitudinal



(b) Vista transversal – referente ao terminal de zinco (+).

Figura 11 – Representação esquemática do experimento feito por François Arago.

Outro trabalho relevante de Arago sobre eletromagnetismo ele comunicou verbalmente à sessão da Academia de Ciências, em 22 de novembro de 1824. Ele apresentou os resultados de alguns experimentos que ele fez sobre a influência que os metais, e diversas outras substâncias, exercem sobre a agulha imantada. Ao colocar uma agulha imantada para oscilar sobre uma placa de metal, ele percebeu que a agulha sofre uma redução de sua amplitude e pára mais rapidamente.

Em seus primeiros experimentos o Sr. Arago⁶⁴ mostrou que uma placa de cobre, ou alguma outra substância, sólida ou líquida, colocada abaixo de uma agulha magnética, exerce sobre ela uma ação na qual o efeito imediato é diminuir o arco de vibração da agulha sem alterar sensivelmente o tempo de vibração (ARAGO, 1855, p. 290).

Ele então percebeu que o movimento é relativo, pois se a agulha estiver parada e a placa de metal se movimentar, ela sairá de sua posição de repouso e se orientará em uma posição diferente do meridiano. Supondo que a placa de metal seja um disco que possa girar sob seu eixo, quanto maior for a velocidade de giro do disco, maior será a influência que a agulha imantada sofrerá e ela passará a girar sobre o ponto onde ela estiver suspensa.

O fenômeno que ele noticiou agora à Academia é, por assim dizer, o inverso do precedente. Visto que, uma agulha [magnética] em movimento é freada por uma placa em repouso, Sr. Arago pensou que fosse possível que o movimento de uma placa pudesse movimentar uma agulha previamente em repouso. Ele descobriu, que se uma placa de cobre, por exemplo, girar com uma velocidade determinada, abaixo de uma agulha magnética cercando-a por todos os lados, a agulha já não se posiciona em sua posição normal; ela se estabiliza em uma posição diferente do meridiano magnético, porque o movimento de rotação é mais rápido. Se este movimento de rotação da placa for suficientemente rápido, a agulha, embora esteja a uma distância da placa, também gira continuamente ao redor de seu ponto ou centro de suspensão (ARAGO, 1855, p. 291).

Arago reconheceu que as explicações teóricas sobre o fenômeno observado e sobre os experimentos realizados, ainda estavam por vir; mas que, Faraday já havia explicado parte deste fenômeno.

Parece-me que existem muitas pesquisas que ainda deveriam ser empreendidas no caminho que eu iniciei, apesar da explicação aparentemente satisfatória que Faraday deu de uma parte do fenômeno que eu descobri (ARAGO, 1855, p. 290).

Estes fenômenos estão relacionados às correntes elétricas induzidas nos metais. Se uma placa de metal se mover rapidamente em um campo magnético, haverá indução de correntes no metal e o movimento empreendido sofrerá uma desaceleração, parando mais rapidamente.

2.3.3 As interpretações de Biot e Savart: a interação entre dipólos magnéticos

⁶⁴ Como vimos, na época era comum redigir em terceira pessoa.

Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841) apresentaram um trabalho sobre o eletromagnetismo à *Académie des Sciences de Paris*⁶⁵, em 30 de outubro de 1820, intitulado “*Note sur le Magnétisme de la pile de Volta*”⁶⁶, em que eles descreveram o experimento que fizeram para determinar a intensidade e a direção da força magnética que era exercida por um fio (longo e retilíneo e, que conduzia uma corrente constante) sobre uma agulha imantada. Neste artigo, a interpretação que eles dão para o experimento de Ørsted, é diferente e contrária da interpretação de Ampère. Para eles, não existia interação entre correntes como supunha Ampère, mas sim, uma *interação direta entre pólos magnéticos*. Ao conectar as extremidades do fio a um aparelho voltaico, a corrente elétrica magnetizaria o fio, espalhando pólos magnéticos ao longo de sua seção reta. Conseqüentemente, os pólos magnéticos do fio interagiam com os pólos magnéticos ou “moléculas” magnéticas da agulha da bússola. Havia, portanto, “uma ação direta dos pólos magnéticos do *fio imantado* sobre os *pólos do ímã*” (ASSIS, CHAIB; 2006).

Os Srs. Biot e Savart foram conduzidos ao seguinte resultado que exprime rigorosamente a ação experimentada por uma molécula de magnetismo *austral* ou *boreal* colocada a uma distância qualquer de um fio cilíndrico muito fino e indefinido, *tornado magnético pela corrente voltaica* (BIOT, SAVART; 1820; ASSIS, CHAIB; 2006) (*Grifo nosso*).

Assis e Chaib (2006) alertam que Biot e Savart não falam em campo magnético, como é comum encontrar em livros didáticos modernos. De acordo com os autores, o método utilizado por Biot e Savart, foi análogo ao proposto por Coulomb para determinar como a força atrativa entre cargas opostas variava com a distância. Eles suspenderam uma agulha imantada em um plano horizontal e mediram os períodos de oscilação para várias distâncias em relação ao fio. Concluíram que, “a força que atua sobre a molécula é perpendicular a esta linha e ao eixo do fio. Sua intensidade é inversamente proporcional à distância” (BIOT, SAVART; 1820, p. 223; ASSIS, CHAIB; 2006, p. 308).

2.3.4 Michael Faraday: a idéia de linhas físicas de força magnética

⁶⁵ Academia de Ciências de Paris.

⁶⁶ “Nota sobre o magnetismo da pilha de Volta”. Uma tradução para o português encontra-se em (ASSIS, CHAIB; 2006).

O experimento de Ørsted trouxe uma questão fundamental ao desenvolvimento do eletromagnetismo: será que a transmissão de força entre os corpos ocorre por meio da *ação a distância* ou esta ação é mediada por algum *agente*?⁶⁷

Como vimos anteriormente, Ampère interpretou o experimento de Ørsted como sendo a interação entre correntes. Biot e Savart interpretaram como sendo a interação entre dipolos magnéticos. Estas interpretações tinham uma característica em comum: ambas consideravam a *ação a distância* entre o fio e a agulha magnética, sendo que esta interação se dava, pelo princípio da ação e reação agindo ao longo da linha reta que unem suas partículas. Assim, tudo se resumia a forças de atração e repulsão entre os corpos afastados entre si. Segundo o modelo da *ação a distância*, estas interações físicas ocorriam de forma instantânea e sem a intervenção do meio circunjacente aos corpos (SILVA e KRAPAS, 2007, p. 472). Uma das contribuições do físico experimental Michael Faraday foi imaginar a *existência de linhas físicas de força* no entorno dos corpos interagentes.

Faraday (1935, p. 506) compara a natureza física dos fenômenos que agem à distância como a *gravitação* e a *radiação* (luz e calor). Segundo o autor, isto facilitaria a compreensão da questão aplicada a *eletricidade* e, principalmente ao *magnetismo*. No caso, da *gravitação* quando dois corpos gravitam em torno de um ponto e a força que os mantém unidos está na direção da linha reta que os une, a força atrativa entre eles não será alterada em direção ou intensidade se um terceiro corpo for colocado para atuar pela gravitação entre ambos. Da mesma forma, se um cilindro homogêneo de latão for pendurado como um pêndulo em relação a Terra, a força gravitacional não será alterada se ele for tensionado para o lado por outra força de atração ou tensão. No caso da *eletricidade*, se um terceiro corpo for interposto entre os dois corpos que interagem, todas as forças do sistema mudam. Ainda no caso da *radiação*, é possível desviar a trajetória da luz (refração). No caso da *gravitação*, não havia evidências de que o tempo pudesse exercer influência sobre a ação. Porém, sabia-se que a luz levava certo tempo para percorrer a distância entre o Sol e a Terra. Na *gravitação*, os corpos agem mutuamente mesmo com objetos interpostos. Na *radiação* luminosa, um dos corpos é a fonte (*emite*) outro é o sorvedouro (*recebe*), é como um rio que “corre” num dada

⁶⁷ Assis (2006, p. 87) compara as idéias de *ação a distância* e de *ação por contato*. Segundo ele, a influência da ação a distância não é interpretada como sendo causada nem transmitida por nenhum outro agente material entre os dois corpos. No caso da ação por contato, os corpos não precisam se tocar fisicamente. Ela pode ser interpretada como causada ou transmitida por um agente intermediário. Segundo Maxwell, “sempre que a energia é transmitida de um corpo ao outro no tempo, deve existir um meio ou substância no qual a energia existe depois de deixar um corpo e antes dela atingir o outro” (MAXWELL, apud ASSIS, 1992, p. 65). Assim, seja A e B dois corpos que interagem mutuamente e C o agente intermediário. Neste caso, a ação por contato não atua diretamente entre A e B, mas sim o contato de A com C, e depois o contato de C com B (ASSIS, 2006, p. 87).

direção. Ainda, é possível bloquear a luz e o calor colocando entre os corpos um anteparo. Ao refletir sobre estas questões, Faraday concluiu que, no primeiro caso (*gravitação*) as linhas são ideais, enquanto que, no outro caso (*radiação*) estas linhas têm existências físicas.

Faraday idealizou linhas físicas de força fechadas existentes no interior e no exterior dos ímãs, que segundo ele, são “aquelas representadas *ao olhar*, pelo uso de filas de limalhas de ferro pulverizadas nas proximidades de um ímã” (FARADAY, 1935, p. 507).

Neste experimento cada pedacinho de limalha torna-se um pequeno ímã. Os pólos de sinais opostos pertencentes a cada pedacinho atraem-se uns aos outros e ficam juntos, e mais partes de limalhas juntam-se aos pólos ainda expostos, isto é, às extremidades formadas por pedacinhos de limalhas. (MAXWELL, *apud* TORT *et al.*, p. 279).

Este experimento permitiu a Faraday tirar algumas conclusões teóricas: segundo ele, as polaridades de um ímã estão relacionadas entre si, interna ou externamente, por meio de linhas físicas de força, que podem ser retas ou curvas, respectivamente. Esta relação necessita de uma quantidade *absolutamente igual* à outra polaridade. Quando elas não estão relacionadas entre si, elas estão relacionadas às polaridades de outros ímãs (FARADAY, 1935, p. 509-10). Esta visão *contrária* a concepção de Gilbert, segundo a qual, um dos pólos de um ímã possuiria uma força de atração maior que o outro.

Em relação à eletricidade dinâmica, Maxwell ao comentar sobre o tipo de ação entre o fio e a agulha imantada, esclarece:

A dedução mais óbvia deste fato novo é que a ação da corrente sobre o ímã não ocorre por meio de uma força do tipo “empurra-puxa”, mas sim por meio de uma força *rotatória* (...) (MAXWELL, *apud* TORT *et al.*, p.279).

Faraday explicou que estas linhas são encontradas em todas as partes nas proximidades do condutor. Na medida em que o condutor faz curvas, estas linhas o acompanham. Estas linhas se *comprimem* e *expandem* na medida em que a intensidade da corrente varia (FARADAY, 1935, p. 509).

Uma das mais famosas descobertas de Faraday está relacionada ao fenômeno da *indução eletromagnética*. Inicialmente, ele mostrou experimentalmente “o poder que correntes elétricas possuem em produzir algum estado particular sobre a matéria em sua vizinhança imediata” (FARADAY, 1981). Ele mostrou que, ao fazer circular uma corrente elétrica por um fio enrolado na forma de uma espira (*primário*), é possível verificar uma deflexão momentânea do ponteiro de um galvanômetro conectado a outro enrolamento

(*secundário*). Esta corrente induzida ocorre *somente no instante* em que se liga ou desliga o circuito primário da bateria voltaica.

Se Ørsted havia mostrado que uma corrente elétrica (*cargas elétricas em movimento*) produz um conflito elétrico nas adjacências do fio condutor, o que hoje em dia consideramos como sendo um campo magnético, então, Faraday imaginou que um ímã (em movimento) podia produzir campos elétricos. Faraday descobriu que, se um ímã permanecer próximo a um enrolamento de fio condutor, nada acontece. Porém, se o ímã se *mover*, ele é capaz de gerar uma corrente neste enrolamento, enquanto houver o movimento. De acordo com Motz e Weaver (1992, p. 144), a contribuição fundamental de Faraday foi estabelecer que *o movimento é um elemento crucial na relação entre eletricidade e magnetismo*.

A lei de Faraday da indução eletromagnética afirma que a intensidade da diferença de potencial entre as duas extremidades do fio móvel é proporcional a taxa que o fio corta as linhas de força magnética (*fluxo*) (MOTZ, WEAVER; 1992, p. 145)

Faraday rejeitava alguns fatores que estavam associados à *ação a distância* como a instantaneidade e a ação ao longo da linha reta que une os corpos. Para ele, a transmissão da força ocorria com velocidade finita e seus experimentos sugeriam que o espaço ao redor do ímã era preenchido por linhas curvas, as quais atravessavam o próprio ímã (SILVA e KRAPAS, 2007, p. 472).

Podemos ver que as descobertas de Ørsted e Faraday são dois aspectos complementares de um mesmo fenômeno: *o eletromagnetismo*.

2.3.5 A síntese do *eletromagnetismo* com J. C. Maxwell

A questão da transmissão da força entre os corpos separados também intrigava James Clerk Maxwell (1831-1879). Ao refletir sobre esta questão ele escreveu:

Sabe-se que dois corpos separados por uma certa distância exercem influência mútua sobre os movimentos um do outro. Dependerá esta ação da existência de uma terceira coisa, um agente de transmissão que ocupa o espaço entre os corpos, ou será que estes agem uns sobre os outros imediatamente, se a intervenção de nada mais (MAXWELL, *apud* TORT *et al.*, p.274)?

Como vimos Michael Faraday havia descoberto vários fenômenos eletromagnéticos: ele confirmou a descoberta de Ørsted de que uma corrente elétrica atua sobre um ímã; mostrou que a variação do fluxo magnético produz uma corrente elétrica e; que uma corrente

variável em um circuito induz uma corrente a fluir num outro circuito. Além disso, suas especulações “quanto à participação do meio e a idéia da realidade das linhas de força como agentes transmissores das interações inspiraram Maxwell em suas pesquisas sobre os fenômenos eletromagnéticos” (SILVA e KRAPAS, 2007, p. 472). Apesar de ser um excelente experimentador Faraday não tinha habilidade matemática suficiente para desenvolver o fenômeno eletromagnético. Segundo Silva e Krapas (2007, p. 473), buscando dar corpo matemático às idéias de Faraday, Maxwell chega a modelos mecânicos para o éter, substância da matéria comum, que deveria preencher o espaço adjacente aos corpos e ser responsável pela transmissão das forças nas interações físicas. Suas *idéias intuitivas* sobre a existência de *campos elétricos* e *magnéticos* e, seu conceito de linhas de força, segundo Beléndez (2008, p. 18), levou a superação da concepção da *ação a distância*^{68,69}. Coube a Maxwell, um experiente matemático, apresentar equações que unificasse os *campos elétricos* e *campos magnéticos* em *campos eletromagnéticos*. Suas equações são conhecidas como: *a lei de Gauss do campo elétrico*; *a lei de Gauss do campo magnético*; *a lei de Faraday-Henry da indução eletromagnética*; e *a lei de Ampère-Maxwell*.

Faraday já havia sugerido que um campo magnético variável pode dar origem a um campo elétrico, o que está implícito na equação da penúltima lei. Mas, será que um campo elétrico variável com o tempo pode dar lugar a um campo magnético? Para compreender esta questão, Maxwell analisou cuidadosamente um dispositivo simples: o *capacitor*. Se um capacitor inicialmente carregado, tiver suas placas ligadas por meio de um fio condutor, a corrente que flui através do condutor será rodeada por linhas de força magnéticas. Ao estudar o evento que ocorre entre as placas, enquanto o campo elétrico varia do valor máximo ao valor zero, o campo magnético varia do valor zero até o valor máximo, ou seja, quando a corrente tende a zero (capacitor descarregado) o campo magnético atinge seu valor máximo. A energia potencial que estava armazenada no capacitor se transforma em energia cinética através da corrente elétrica, que novamente se torna energia potencial do condensador com a polaridade invertida. Isto pode ser comparado ao movimento de um pêndulo. A estas oscilações estão associadas a uma *frequência* e a um *período*. As oscilações elétricas do

⁶⁸ Assis (1999, p. 55) discorda que a *teoria de campo* tenha superado o modelo da *ação a distância*. Segundo ele, existem alguns problemas com modelo da ação por contato baseada em campos, éteres e teorias balísticas. Assis (1999) apresenta argumentos que revelam os aspectos positivos do modelo da ação a distância.

⁶⁹ Segundo Silva e Krapas (2007, p. 472), o conceito de *campo* se situa numa perspectiva que se opõe à *ação a distância*. Para os autores, o estudo dessa controvérsia ao longo da história, tem sido de grande valor para repensar o ensino das interações físicas.

capacitor não continuam eternamente, mas cessa depois de um tempo, o que significa que o condensador perde toda sua energia para o meio (MOTZ e WEAVER; 1992, p. 149-52).

Segundo Beléndez (2008, p. 18), “a contribuição fundamental de Maxwell foi introduzir o termo “corrente de deslocamento” na equação da última lei e, concluir que *um campo elétrico variável com o tempo pode dar lugar a um campo magnético*”. “Ele também demonstrou que as equações do campo eletromagnético podiam se combinar para originar uma equação de onda que deveriam satisfazer os *vetores campo elétrico e magnético* e, propôs a existência das *ondas eletromagnéticas*”.

Estas duas equações são chamadas “equações de onda”, porque elas mostram que o *campo elétrico* e o *campo magnético* se propagam juntos como oscilações periódicas em ângulos retos entre si e, ambos são ângulos retos com a direção de propagação das ondas. (MOTZ e WEAVER; 1992, p. 152).

A velocidade de uma onda depende do meio quê a propaga. Maxwell percebeu que havia uma relação entre a *constante elétrica* e a *constante magnética*, com uma determinada velocidade. Segundo Beléndez (2008, p. 18), ao calcular a velocidade de propagação da onda eletromagnética (no vácuo), Maxwell obteve o *valor da velocidade da luz*, concluindo que *a luz também é uma onda eletromagnética*.

Esta velocidade tão próxima a da luz, que parece temos fortes razões para concluir que a própria luz (incluindo calor radiante, e outras radiações) é um distúrbio eletromagnético na forma de ondas propagadas através do campo eletromagnético de acordo com as leis eletromagnéticas (MAXWELL, 1982, p. 42).

Ao obter uma identidade entre o éter luminífero e o eletromagnético, ou seja, entre a luz e as perturbações eletromagnéticas, Maxwell concluiu que ambas teriam o mesmo suporte de propagação (SILVA e KRAPAS, 2007, p. 473). Ele mostrou que *eletricidade e magnetismo* são manifestações diferentes de um mesmo substrato físico (*eletromagnético*). Para ele, as ondas eletromagnéticas se propagavam em um *éter* na velocidade da luz. Portanto, a síntese de Maxwell dos fenômenos eletromagnéticos sugeria uma natureza eletromagnética à luz. Esta predição de Maxwell foi verificada posteriormente por Heinrich Hertz (1857-1894) e é à base da transmissão de informação sem cabos: ondas de rádio, controle remoto, microondas, etc.

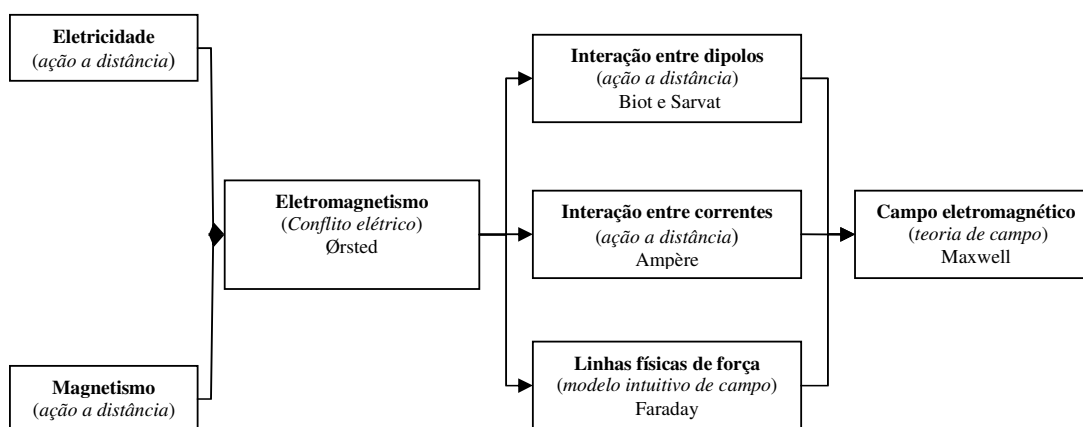
2.4 Uma análise da História da Ciência sob o referencial bachelardiano

A abordagem histórica apresentada neste trabalho, não é simplesmente uma narrativa cronológica dos acontecimentos, como poderia se pensar a primeira vista. O desenvolvimento histórico *não* é linear e cumulativo. Sendo assim, a ciência *não* é construída mediante a colocação de “tijolos” aonde os conhecimentos vão sendo amontoados um a um. Contrário a esta concepção, a evolução histórica caracteriza-se por um desenvolvimento do conhecimento marcado por *rupturas* e por um *processo dialético* entre *razão* e *experiência* para um racionalismo crescente, ou seja, de um conhecimento mais elaborado e sistematizado. O conhecimento ulterior consiste no conhecimento anterior *retificado*. Os *erros* são vistos como intrínsecos ao processo e relevantes na formação dos conceitos. Sendo assim, eles auxiliam o desenvolvimento da ciência e a construção do conhecimento.

A História da Ciência ao “ser encarada” como um processo descontínuo, permite identificar e caracterizar as diferentes regiões da hierarquia das escolas filosóficas de pensamento bachelardianas. Em outras palavras, ao se analisar o desenvolvimento dos conceitos, é possível identificar um *perfil epistemológico* que contempla as diversas filosofias de pensamento. Sem dúvida, esta é uma das principais contribuições da *recorrência histórica* ao passado.

O *Quadro 5* é um esboço que sintetiza aquilo que foi visto neste capítulo, relacionado ao desenvolvimento histórico da *eletricidade* e do *magnetismo* e do *eletromagnetismo*.

Quadro 5 – Esquema das concepções históricas sobre os fenômenos eletromagnéticos



Tecendo algumas considerações sobre o nosso estudo histórico, encontramos nos povos da antiguidade (*Bartholomew*) as primeiras concepções sobre o magnetismo repletas de subjetividade. Sob este ponto de vista, os povos primitivos atribuíam propriedades místicas, divinas e miraculosas ao minério *magnetita*. Estas concepções são desprovidas de fundamentos experimentais e teóricos. Elas estão respaldadas apenas na “opinião”, sendo consideradas concepções de *senso comum* e não um conhecimento socialmente acreditado. Esta generalização imediata, daquilo que as pessoas julgam conhecer, evidencia a presença do *conhecimento geral* como *obstáculo epistemológico* ao conhecimento científico.

As primeiras interpretações científicas ocorreram com *Peregrinuns* (magnetismo) e *Gilbert* (eletricidade e magnetismo). Nelas o objeto de estudo passa a ser investigado a partir da *observação* e da *experimentação*. É um processo *indutivo*, no qual a teoria surge a partir do contato direto com o real ou pela utilização de um instrumento capaz de mensurar os dados. A manipulação do objeto e a experimentação sistematizada *rompem* com o senso comum e surgem as primeiras teorias científicas, relacionadas independentemente a *eletricidade* e ao *magnetismo*. É um período fortemente caracterizado pelo *empirismo*. Ao estudar a intensidade das forças elétricas e magnéticas, Coulomb chega à conclusão que elas são similares entre si e a força gravitacional e, atuam entre partículas pelo princípio da *ação a distância*, ou seja, independentemente de um meio e, são calculadas por forças do tipo central, que obedecem a *lei do inverso do quadrado da distância*; lei similar a *força gravitacional newtoniana*. Provavelmente, esta é uma das primeiras expressões matemáticas derivadas da experimentação que quantifica os fenômenos *elétricos* e *magnéticos*. Acreditamos que a *experiência primeira* seja o principal *obstáculo epistemológico* neste período, pelo fascínio que a experimentação causava nas pessoas.

A física do século XIX foi caracterizada pela introdução de um novo conceito de energia, que tenta unir as diferentes forças existentes na natureza. Este impulso, dado a criação de uma física unificada, foi influenciado por correntes filosóficas que divergiam da mecânica newtoniana, considerada a visão de mundo, na época. Baseado nisto, o experimento de *Ørsted* marcou o início do *eletromagnetismo* e representou uma verdadeira “revolução” no conhecimento científico. *A corrente elétrica ao passar pelo fio provocava um efeito transversal ou rotatório que parecia contrariar a física newtoniana*. A partir daí, não havia dúvidas da relação existente entre correntes elétricas e ímãs, porém, a ação transversal se opunha ao conceito de força central do tipo “*ação a distância*”. Motivados a interpretar os

fenômenos cientistas como *Biot* e *Savart* (interação entre pólos magnéticos), *Ampère* (interação entre correntes elétricas) e *Faraday* (noção intuitiva de linhas físicas de força) travaram um verdadeiro embate entre as idéias que culminaram no surgimento da *teoria de campo eletromagnético* proposto por *Maxwell*. A maneira de pesquisa se tornou mais teórica devido à necessidade de justificar as descobertas experimentais. Neste período caracterizado pelo *racionalismo*, as leis e teorias geralmente surgem *antes* da experimentação sistematizada, ou seja, a última é a *verificação* da primeira. O desenvolvimento teórico passa a guiar as ações práticas. O vetor epistemológico vai do *racional ao real*. O *racionalismo* representa uma “mudança de método” que *rompe* com o *empirismo* e representa uma região de “*status*” mais elaborado dentro da hierarquia das escolas filosóficas de pensamento. Pelo fato do conhecimento tornar-se mais abstrato e distante do objeto real, é necessária a criação de modelos explicativos. Assim muitas idéias trazem consigo *obstáculos substancialistas* nas interpretações desses fenômenos.

Muitos cientistas como *Ampère* e *Biot-Savart* interpretaram o fenômeno eletromagnético com base no modelo da *ação a distância*. Os cálculos foram conduzidos por meio dos métodos clássicos da mecânica newtoniana e, a brilhante teoria matemática desenvolvida por *Ampère* foi baseada neste modelo. *Ampère*, inclusive, inicia sua memória sustentando claramente ser a favor o modelo newtoniano e acusando a interpretação de *Ørsted*, de seguir o modelo dos vórtices cartesianos.

Faraday foi um dos primeiros cientistas a sugerir que o modelo da *ação a distância* era inadequado para descrever estas interações e, ele “viu” nas explicações dadas por *Ørsted* a respeito do seu experimento, um *campo de força*. Ao espalharmos pequenas limalhas de ferro sobre o papel é possível ilustrar o campo e observar curvas que se dispõem ao redor de um ímã. Estas linhas retas ou curvas de forças magnéticas coincidem com a direção e intensidade do campo em todos os pontos do espaço.

A concepção de *Faraday* de mundo pode ser resumida ao dizer que, força é uma propriedade universal que se espalha através do espaço: cada ponto do campo de força está associado com uma intensidade e uma direção. Assim, de acordo com a intensidade e direção da força, o ponto de força fará pontos próximos se moverem. Portanto, todos os pontos no sistema interagem com aqueles sucessivos a ele, dando forma a todas as possíveis distribuições de força e suas vibrações (FURIÓ e GUIASOLA, 1998a, p. 514).

Segundo os autores, o estudo da indução elétrica confirmou a hipótese que forças elétricas se propagavam através de um “*meio*” e, conduziu a conclusão de que era o *meio* que propagava. As partículas do *meio* atuavam como condutores quando polarizados. Esta ação

ocorria entre partículas contínuas e ao longo de linhas curvas, que de acordo com Faraday, era prova conclusiva de que a indução não resultava da *ação a distância*, mas de uma “*ação contínua*”. No caso da óptica, estudos apresentavam conclusões análogas. A teoria ondulatória de Fresnel advogava que a luz se propagava através das vibrações do “éter” mecânico, centrada na idéia de uma concepção de *transmissão “passo a passo”*, interagindo através da matéria do espaço ao redor. Fresnel foi capaz de explicar os resultados que a teoria de Newton de natureza corpuscular não conseguia. Finalmente, Maxwell publicou sua *teoria do campo eletromagnético*, que Hertz confirmou experimentalmente no final do século XIX.

Os autores Furió e Guisasola (1998a, p. 516) apresentaram algumas características gerais das regiões do perfil epistemológico *coulombiano* e *maxwelliano*, que sintetizamos no *Quadro 6*.

Diante da nossa análise, podemos caracterizar a história da eletricidade e do magnetismo em três períodos de desenvolvimento, nos quais, a formação dos conceitos pode ser interpretada por três regiões ou zonas hierárquicas das escolas filosóficas de pensamento: *o senso comum*, *o empirismo* e *o racionalismo*. Se avançássemos ainda mais em nossa análise, veremos a presença de novas regiões hierárquicas na formação de conceitos. Porém limitaremos nossa análise as três primeiras zonas do perfil epistemológico.

Quadro 6 – Caracterização geral do perfil epistemológico *coulombiano* e *maxwelliano*.

Perfil epistemológico <i>coulombiano</i>	Perfil epistemológico <i>maxwelliano</i>
• Cosmologia newtoniana – A carga é concebida como situada na própria matéria. • Forças elétricas e magnéticas são análogas a força gravitacional. Esta analogia permite a definição operativa de carga elétrica e generaliza a idéia de que toda a matéria é de origem elétrica. • A interação elétrica entre cargas separadas é transmitida instantaneamente através do espaço onde elas estão situadas, sem a existência de um meio entre elas. • Estas interações elétricas são diferentes, em natureza, das forças magnéticas exercidas por ímãs. Entre elas, não é apropriado procurar nenhum relacionamento entre esses tipos de forças diferentes.	• Cosmologia kantiana ou cartesiana – A interação elétrica ou magnética não está limitada à sua localização no substrato material, mas se estende por todo o espaço ao redor. • A “irradiação” da interação no espaço requer a introdução de um novo conceito: o “campo”. A associação de todos os pontos do espaço com a intensidade de campo. • É impossível interpretar o relacionamento entre corpos carregados sem considerar o “meio” em que a ação é transmitida. A ação não é instantânea. • Abre o processo de unificação de todas as interações naturais conhecidas. Interações elétricas estão relacionadas a interações magnéticas e vice-versa.

O estudo sobre evolução das teorias e dos conceitos históricos relacionados à nossa temática propiciou uma interpretação e uma classificação destes conceitos em algumas zonas do *perfil epistemológico*: as primeiras concepções sobre a eletricidade e o magnetismo possuíam características de *senso comum*; dos primeiros estudos ao início do século XIX, a eletricidade e o magnetismo foram marcados pelo *empirismo*; e finalmente, o *racionalismo* marca praticamente todo o século XIX. A primeira vista, parece existir uma relação entre a cronologia e complexidade dos conceitos. Não podemos ser dogmáticos e devemos reconhecer que estas fronteiras são “imaginárias”. Um exemplo disto ocorreu *após* a descoberta do eletromagnetismo, em que as teorias de *Biot e Savart* e *Ampère* interpretaram os fenômenos considerando a *ação a distância* entre os corpos e não uma “visão” baseada no *modelo de campo magnético*, e, portanto, a teoria de campo não surge imediatamente com o surgimento do eletromagnetismo. Um aspecto relevante a ser destacado é que com base em conhecimentos anteriores, surgem novas idéias. O conhecimento se constrói *retificando* idéias antigas, corrigindo *erros* do passado.

Os modelos *newtoniano* e *maxwelliano*, ao interpretarem interações entre cargas, podem ser considerados como pertencentes a diferentes “status” *ontológicos* e *epistemológicos*, mas não opostos. Isto é, eles podem ser considerados como dois diferentes perfis conceituais quando relacionados à resolução de problemas científicos. Inicialmente, eles são apresentados, na história, como teorias opostas com diferentes linhas de pesquisas (i.e., *Ampère* e *Faraday*), com divergências entre eles. Posteriormente, eles manifestam algumas convergências ao explicarem a mesma descoberta por meio de diferentes bases teóricas (FURIÓ e GUIASOLA, 1998a, p. 516).

Para Silva e Krapas (2007, p. 476), estudar a evolução de um conceito, expõe a ciência a um olhar mais humano – portanto, mais falho - que mostra suas idas e vindas, suas contradições, disputas e incertezas. Expõe o conceito a uma análise crítica, desnudando alguns caminhos que mostram que é possível que duas concepções sobre o mesmo tema coexistam e se desenvolvam. A Ciência admite uma pluralidade teórica. Assim, ao utilizar a controvérsia da ação mediada *versus* ação a distância no ensino do conceito de campo⁷⁰ e explorar as concepções dos estudantes quanto a transmissão da ação é possível introduzir esta contraposição destas idéias.

Como ressaltamos no capítulo anterior, alguns autores defendem um paralelismo entre aspectos *epistemológicos* e *ontológicos*. Sendo assim, acreditamos que a história da

⁷⁰ Silva e Krapas (2007, p. 475) admitem que a palavra “*campo*” possui uma multiplicidade de significados (*polissemia*), que no nosso caso esta relacionado fundamentalmente a região do espaço que contém e envolve corpos em condições elétricas ou magnéticas e, os autores defendem que uma das abordagens didáticas para o ensino destas interações físicas é inseri-las em uma *controvérsia histórica*.

ciência pode contribuir no estudo psicológico da mente cognoscente. Neste sentido, a nossa pesquisa pretende utilizar a evolução histórica do eletromagnetismo para estudar o processo construção do conhecimento, por parte do aprendiz. No trabalho em sala de aula, não vamos apontar *erros* ou revelar *verdades*. Acreditamos que o processo *dialético* nos permita identificar estes *erros* e *verdades* implícitas no processo de construção e, além disso, não só verificar as diferentes zonas hierárquicas de pensamento, mas também, subsidiar a aquisição de novas zonas do perfil epistemológico por parte sujeito.

No capítulo seguinte, apresentaremos a metodologia que foi aplicada ao nosso trabalho empírico, no qual descreveremos a amostra investigada por meio de um curso de extensão universitária e, os procedimentos para coleta e análise dos dados relativos ao nosso estudo.

3. METODOLOGIA DO TRABALHO DE PESQUISA

“é preciso sempre que um método tenha a sanção de um fato”

(BACHELARD, 1977, p. 79).

Este capítulo tem por objetivo apresentar as etapas elaboradas e executadas no decorrer do processo de pesquisa, visando explicitar com clareza as características da amostra analisada, a metodologia utilizada durante a realização do trabalho investigativo e mostrar ao leitor a forma de utilização dos instrumentos de coleta e análise de dados.

O trabalho de pesquisa pode ser dividido basicamente em duas etapas: um estudo *teórico* e um trabalho *empírico*. O primeiro teve por finalidade subsidiar o último. Os capítulos precedentes, que tratam do referencial epistemológico e que se referem ao estudo dos conceitos ao longo da história, conduziram nosso olhar sobre os dados durante o trabalho de pesquisa em sala de aula. Sem este aporte teórico, o pesquisador estaria desprovido de “ferramentas” para a condução e análise do “trabalho efetivo”. Em relação ao tipo de pesquisa, podemos defini-la como sendo uma *pesquisa qualitativa*, pois a finalidade principal do trabalho consistiu na compreensão do processo cognitivo do aprendiz, sem a preocupação com a quantificação dos resultados. Bogdan e Biklen (1994, p. 47) defendem que a pesquisa qualitativa se refere a uma pesquisa descritiva, que está centrada nos processos, ao invés dos resultados. Nosso trabalho também pode ser classificado como uma *modalidade de campo* na qual o pesquisador assume o papel de *observador participante*, indo à sala de aula e aplicando técnicas e instrumentos de coleta dos dados para as análises posteriores. Por último, podemos defini-la como sendo uma *pesquisa-ação*. Tozoni-Reis (2007, p. 31) nos ajuda a definir este plano de investigação salientando que a pesquisa-ação “articula a produção de conhecimentos com a ação educativa”, ou seja, por um lado ela investiga e produz conhecimento sobre a realidade a ser estudada e, por outro, realiza um processo educativo para o enfrentamento desta mesma realidade. Neste sentido, existe uma articulação entre a teoria e a prática. Os participantes deixam de serem simplesmente “objetos de estudo” para se tornarem pesquisadores do conhecimento sobre sua própria realidade. Assim, os integrantes da pesquisa “compartilham conhecimento que trazem de diferentes experiências sócio-históricas com o

objetivo de promover, pela *ação-reflexão-ação*, transformações na realidade socioambiental que investigam” (TOZONI-REIS, 2007, p. 32). A metodologia da pesquisa-ação em educação se refere, segundo a autora, na “necessidade de superar um modelo de ciência que se fundamenta na separação entre teoria e prática, entre o conhecer e o agir, que revelam intenções de dominação construída historicamente em nossas sociedades desiguais” (*Ibid*).

Obviamente que, a apresentação dos dados não revela toda a complexidade inerente ao processo de pesquisa. No entanto, pretendemos resgatar alguns passos seguidos durante a investigação, evidenciando os obstáculos defrontados no desenvolvimento deste trabalho. Por outro lado, é necessário explicitar os resultados de forma clara, a fim de facilitar suas interpretações sobre os dados coletados. Assim, nossa tarefa consiste na organização e interpretação dos resultados.

Dividiremos este capítulo em duas seções. A primeira apresenta as características da amostra investigada. Em seguida, apresentaremos a metodologia da pesquisa dividida em três subseções: *coleta de dados, transcrição e organização dos dados e análise dos dados*.

3.1 Características da amostra investigada

Desde o início da elaboração do projeto de pesquisa tínhamos a intenção de trabalhar a formação de conceitos com alunos do curso de licenciatura em Física e trabalhar aspectos históricos e filosóficos relacionados ao eletromagnetismo. Isto se justifica, porque o pesquisador tinha fácil acesso a este público e familiaridade com o conteúdo. No entanto, a princípio, não sabíamos exatamente como proceder e, muitas dúvidas pairavam sobre o nosso trabalho. Como trabalhar os aspectos históricos e filosóficos do eletromagnetismo com este público? Como coletar os dados para análise? Qual o verdadeiro foco da nossa investigação? Num primeiro momento, fizemos um levantamento preliminar dos dados visando evidenciar as interpretações dos estudantes relacionadas a estes fenômenos. Fomos à sala de aula e por meio de uma montagem experimental reproduzimos o experimento realizado por H. C. Ørsted. Coletamos os dados por meio de um questionário relacionando às duas situações: fio posicionado paralelamente a agulha magnética da bússola e perpendicularmente a ela (SOUZA FILHO e CALUZI, 2005). Outra tentativa de desenvolver o projeto foi realizada na disciplina de eletromagnetismo no curso regular de licenciatura em Física, onde solicitamos ao professor responsável pela disciplina que participássemos das aulas, a fim de observar, intervir e coletar os dados referentes à nossa pesquisa. Embora tivéssemos tido toda liberdade

para trabalhar com o grupo de alunos, o professor tinha que cumprir o programa curricular caracterizado pelo formalismo matemático e, os alunos estavam preocupados com o estudo da teoria e da resolução dos exercícios, a fim de obterem as notas necessárias à aprovação. Sendo assim, o estudo pretendido não obteve êxito. Por fim, numa reunião realizada no grupo de pesquisa, apresentamos o projeto aos docentes e discentes do programa de pós-graduação que nos surgiram que elaborássemos um curso de extensão universitária, onde pudéssemos trabalhar com um grupo reduzido de alunos, e assim, trabalhar especificamente o conteúdo histórico do eletromagnetismo e investigar a formação e a aquisição de conceitos pelos alunos.

Julgamos a idéia frutífera e elaboramos um curso de extensão universitária que foi denominado “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*” vinculado ao *Centro de Divulgação e Memória da Ciência e Tecnologia (CDMCT)*. O objetivo principal era reunir os estudantes do curso de licenciatura em Física da Unesp de Bauru/SP, para aquilo que consideramos mais apropriado denominar de um *grupo de estudos*. Neste grupo, o pesquisador selecionaria alguns textos para leitura, estudo e discussão do conteúdo com os integrantes do curso, a fim de trabalhar diretamente vinculado ao processo cognitivo dos alunos. Visando divulgar o curso aos estudantes interessados, o pesquisador percorreu as salas de aulas onde eles cursavam as disciplinas oficiais do curso de licenciatura e, por meio de um “*folder*” (*apêndice A1 e A2*) foi divulgada a proposta do curso. Era necessário apenas que o aluno tivesse uma pré-disposição em estudar e trabalhar a temática proposta. Não foi exigido como pré-requisito que o aluno tivesse cursado a disciplina oficial do eletromagnetismo, pois a ementa do curso oferecido consistia de um estudo relacionado aos principais “episódios” históricos, o que não era abordado na disciplina oficial. Elaboramos uma ficha de inscrição de matrícula na qual, além dos dados pessoais, reservamos um espaço para que os alunos pudessem escrever sobre suas expectativas em relação ao curso proposto. No momento da matrícula, os estudantes eram informados que a finalidade dos encontros, além do estudo histórico do eletromagnetismo, era destinada também à coleta de dados para o nosso trabalho de pesquisa. Assim, pedimos autorização aos estudantes para que pudéssemos gravar os encontros como registro das informações para nossas análises posteriores e, que por gentileza, nos autorizassem por escrito assinando a ficha de inscrição (*apêndice B*).

O curso foi ministrado no decorrer do ano letivo de 2006, com uma carga-horária de 60 horas/aulas distribuídas quinzenalmente em 20 encontros com duração de 3 horas cada encontro. O *apêndice C* explicita o conteúdo programático do curso proposto. Foram

disponibilizadas inicialmente 15 vagas que obedeceram rigorosamente à ordem de interesse pela matrícula. O “rol” de alunos da nossa amostra era composto somente por estudantes do sexo masculino com idades variando entre 18 a 25 anos de idade, os quais cursavam o segundo ou terceiro ano do curso de licenciatura em Física da Unesp/Bauru. Talvez, o motivo de todos os inscritos serem do sexo masculino se justifique pelo fato que, em média, no curso oficial, 95% são rapazes.

Em cada encontro realizado nós estudávamos um texto específico cujo conteúdo versava sobre a história da eletricidade, do magnetismo e do eletromagnetismo clássico. O pesquisador selecionava um trecho de um texto histórico, que geralmente era fruto de trabalho de um “personagem” da história da ciência e, fazia uma tradução preliminar para que os alunos pudessem acompanhar e discutir o conteúdo abordado. Na medida do possível, o pesquisador executava alguns experimentos geradores e desencadeadores dos processos cognitivos, a fim de explicitar as idéias e as concepções dos alunos. No final do curso, os alunos, com frequência superior a 75%, receberam um certificado de participação e conclusão (*apêndice D*).

3.2 A metodologia do trabalho de pesquisa

A metodologia da pesquisa tem como objetivo central descrever, compreender e analisar o processo de pensamento dos sujeitos da pesquisa. Como já dissemos, ela pode ser definida basicamente, como uma pesquisa *qualitativa*, na qual se pretendeu investigar o sistema cognitivo dos alunos visando conhecer seus principais *obstáculos* e *perfis epistemológicos* e, principalmente, compreender o papel desempenhado pelo erro no processo de ensino e aprendizagem. Utilizamos para isto a *modalidade de campo*, onde por meio do curso denominado “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*”, descrito na seção anterior, o pesquisador utilizou de técnicas com a finalidade de coletar os dados para as análises. A coleta dos dados foi feita por três maneiras distintas: por meio da gravação das “falas” dos sujeitos, durante os encontros realizados; por meio de questionários que foram aplicados no início do curso e no final de cada semestre como uma síntese do conteúdo abordado e; por meio de entrevistas finais realizadas com alguns integrantes do curso.

A *primeira* forma de coleta foi realizada incorporando aos encontros, textos históricos e atividades experimentais que fomentassem a participação ativa dos alunos, de maneira que eles expressassem seus pensamentos. Esta forma de coleta, embora não tenha

sido feita especificamente por meio de entrevistas, possuiu características que se assemelharam a uma *entrevista semi-estruturada*, pois transcorreu de forma livre sem nenhum roteiro pré-definido, embora as perguntas e respostas tenham envolvido mais que duas pessoas. Tozoni-Reis (2007, p. 40) considera como entrevista “todo tipo de comunicação ou diálogo entre o pesquisador que tem como objetivo coletar informações dos depoentes para serem posteriormente analisadas”. A autora considera esta técnica como uma das mais adequadas para a pesquisa de campo na área da educação. Depois dos trechos transcritos, é possível utilizar a *Análise de Conteúdo*, que consiste em um conjunto de técnicas de análises de comunicação, capaz de decompor o texto documental em partes constituintes, onde o pesquisador procederá a um estudo aprofundado destas partes, buscando “informações do contexto e do texto, como forma de compreender o expreso e o oculto” (TOZONI-REIS, 2007, p. 46). Os registros das informações foram armazenados por meio de gravação em “vídeo”.

A *segunda* forma de análise se deu por meio de três questionários: o *primeiro* questionário foi aplicado no início do curso para que pudéssemos inferir sobre algumas concepções relativas aos conceitos e sobre as características do *perfil epistemológico* apresentadas pelos integrantes e, com isso, elaborar nosso cronograma de trabalho; o *segundo* e o *terceiro* questionário foram aplicados respectivamente no final de cada módulo proposto, ou seja, no final de cada semestre, como uma forma de sintetizar o conteúdo abordado e as idéias veiculadas. Portanto, o *segundo* questionário foi aplicado na metade do curso (final do primeiro semestre) e o *outro*, no final do segundo semestre ou encerramento do curso. Tozoni-Reis (2007, p. 40) considera este tipo de coleta como uma *entrevista* “mais” *estruturada* caracterizando-se por um conjunto de questões predefinidas e sequenciais apresentadas ao entrevistado. No entanto, a autora salienta que, é importante que as questões estejam articuladas entre si, tomando-se o cuidado para que uma questão não responda a outra e, para evitar induzir no entrevistado as respostas desejadas pelo pesquisador.

Finalmente, o *terceiro* instrumento de análise foi feito por meio de *entrevistas estruturadas* entre o pesquisador e um dos alunos integrantes do curso, depois de transcorrido aproximadamente dois anos de encerramento do curso. Selecionamos quatro estudantes para entrevistas diretas com duração média de aproximadamente de 30 minutos. Bogdan e Biklen (1994, p. 134) alertam que para uma boa entrevista, o pesquisador deve deixar o sujeito à vontade para falarem livremente e expressarem seus pontos de vista. O entrevistador pode, às vezes, intervir e pedir uma clarificação do respondente, quando este mencionar algo

“estranho” ou “interessante”. A entrevista deve ser feita “na linguagem do próprio sujeito, permitindo ao investigador desenvolver intuitivamente uma idéia sobre a maneira como os sujeitos interpretam aspectos do mundo” (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 134). No final das entrevistas, o pesquisador solicitou aos alunos que traçassem seus *perfis epistemológicos*, que representou mais um instrumento de análise (*apêndice M*).

O trabalho de campo ou o estudo empírico pode ser dividido basicamente em três etapas: *coleta de dados*, *transcrição e organização dos dados* e *análise dos dados*. A seguir apresentaremos mais pormenorizadamente cada uma das etapas.

3.2.1. Coleta de dados

A coleta de dados é uma das etapas mais importantes da pesquisa qualitativa, pois ela constitui no material empírico para a análise, que revelará o conhecimento da realidade a ser posteriormente interpretada. Segundo Tozoni-Reis (2007, p. 67-8) a coleta de dados merece atenção especial para que, posteriormente, os dados sejam analisados e interpretados revelando novos conhecimentos sobre os fenômenos educativos estudados. Durante a coleta, é preciso empreender análises preliminares e constantes aos dados coletados, a partir de marco conceituais do estudo, a fim de adaptar (*se necessário*) a metodologia a realidade que se apresenta ao pesquisador, visando enriquecer sua coleta de dados. Nossos dados foram coletados por meio de duas técnicas que são apresentadas a seguir.

3.2.1.1 Gravação dos dados

A documentação dos dados consistiu na gravação dos encontros em vídeo, e conseqüentemente na gravação sonora das palavras, objetivando transformar as relações estudadas em textos, que serviram de base para as análises efetivas das “falas” dos sujeitos investigados. Duas câmeras de vídeos foram instaladas, uma em cada canto da sala, para captar o vídeo e, principalmente o áudio das discussões realizadas. Em pouco tempo, os alunos “esqueceram” que os encontros estavam sendo gravados e passaram a agir e conversar naturalmente. Alguns trechos mais relevantes dos encontros realizados estão disponibilizados no Capítulo ulterior, subsidiando nossa análise. As entrevistas também foram gravadas.

3.2.1.2 Questionário inicial e questionários de síntese

Logo no primeiro dia de aula, solicitamos aos alunos que respondessem a um questionário relacionado à interação entre os fenômenos *elétricos* e *magnéticos* (apêndice E). A finalidade deste questionário foi conhecer as pré-concepções e, elaborar um estudo sobre as características e formas de pensar dos integrantes do curso.

Formulamos mais *dois* questionários, a fim de que os estudantes pudessem expor suas opiniões relacionadas aos conteúdos estudados. O *primeiro questionário* foi idealizado logo após finalizar o estudo referente à *eletricidade*, o *magnetismo* e a proposição do *eletromagnetismo* com o experimento de Ørsted, ou seja, no período predominantemente anterior ao início do século XIX, o que ocorreu no término do primeiro semestre letivo. Em seguida, fizemos uma paralisação (férias escolares) e, então, reiniciamos os estudos discutindo as interpretações posteriores a descoberta do eletromagnetismo (a partir da segunda década do século XIX em diante) e, finalizamos o curso com a elaboração de *mais um questionário síntese* que foi respondido pelos estudantes no final do curso.

3.2.2 Transcrição e organização dos dados

Tendo em mãos a gravação dos encontros realizados e das entrevistas, torna-se necessário documentar estes episódios registrando suas partes mais relevantes. A transcrição é uma etapa intermediária e necessária entre a coleta de dados e a sua interpretação. Ao transcrever as gravações tornamos a realidade em textos, organizando especificamente aquilo que foi documentado. Estes textos por sua vez, possibilitam a reconstrução da realidade estudada, tornando-se um material empírico para análise dos procedimentos interpretativos (FLICK, 2004, p. 186-87). Neste sentido, a organização dos dados consiste em “sistematizar e organizar os dados sobre os fenômenos investigados como forma de facilitar as análises que serão empreendidas” (TOZONI-REIS, 2007, p. 46).

Tozoni-Reis (2007, p. 69) acredita que a forma mais comum para a organização dos dados e dos resultados da pesquisa qualitativa é a classificação em *categorias de análises*. Segundo Bardin (1977), a classificação dos dados em categorias consiste em repartir os elementos coletados, a fim de impor uma organização às mensagens, ou seja, consiste na passagem dos “dados brutos” em “dados organizados”. A partir do momento em que a análise de conteúdo decide codificar ou rotular seu material, deve produzir um sistema de categorias. O método das categorias pode ser comparado a um conjunto de pastas ou gavetas que

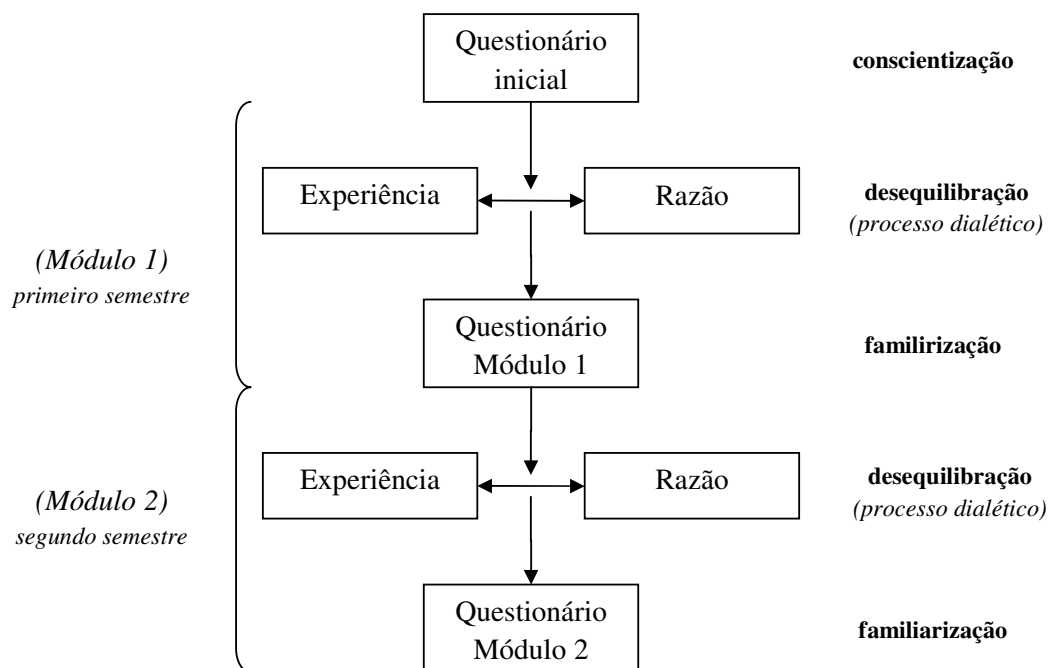
permitem a classificação dos elementos, visando inferir o que está oculto na mensagem ou na documentação. Categorizar os resultados equivale a agrupar os elementos comuns a fim de facilitar o processo de análise. Tozoni-Reis (2007, p. 69) alerta que ao definirmos o número de categorias não devemos cair em armadilhas e, devemos definir precisamente como os dados devem ser organizados, a fim de apresentar na redação final do trabalho, as informações claras ao leitor sobre o fenômeno estudado. Nossas categorias de análises serão apresentadas no item a seguir.

3.2.3 Análise dos dados

No quarto Capítulo, faremos efetivamente a análise de dados coletados neste trabalho. A análise dos dados é considerada a etapa mais relevante da pesquisa. Ela consiste em discutir, analisar e interpretar os dados coletados, a fim de que o estudo empreendido e as interpretações feitas pelo pesquisador tenham significado acadêmico. Nesta etapa, é necessário refletir e dialogar com o referencial teórico da pesquisa. Tozoni-Reis (2007, p. 71) adverte que o pesquisador ao escrever a redação final do trabalho deve primeiramente apresentar os resultados, para em seguida, discuti-los com o referencial teórico e então, construir sua própria interpretação para os resultados obtidos. O *Quadro 7* esquematiza a estrutura que seguimos para a análise dos nossos dados.

A estrutura da análise dos dados está baseada nas etapas do *tempo crítico da psicanálise* proposto por Santos (1998, p. 202-25). Como foi visto no capítulo um, trata-se do *momento da ruptura* ou da *desestruturação do saber*. Isto equivale dizer que, vamos estudar a aprendizagem e a formação do conceito, centrando nosso foco de atenção, nos conflitos e obstáculos defrontados pelos alunos participantes do curso no decorrer do processo.

As etapas do tempo da psicanálise estão divididas em *três tempos lógicos*: *conscientização*, *desequilíbrio* e *familiarização*. O primeiro questionário, que constitui o tempo da *conscientização*, foi elaborado a fim de que o aluno pudesse refletir sobre suas pré-concepções e sobre suas certezas. As discussões realizadas durante o curso referem-se à etapa da *desequilíbrio*, caracterizada pela dialética entre o *realismo* e o *racionalismo*. Nesta etapa, as idéias veiculadas se confrontaram com os experimentos e, os experimentos forneceram subsídios para as reflexões teóricas. Finalmente, elaboramos na etapa da *familiarização* dois questionários síntese, que foram aplicados no final de cada módulo.

Quadro 7 – Esquema da coleta e análise dos dados

A questão inicial que conduziu as nossas investigações foi a seguinte: *Em sua opinião, existe relação entre os fenômenos elétricos e fenômenos magnéticos? Argumente sua resposta defendendo seu ponto de vista.* Uma pergunta aberta, que obviamente fornece os dados de forma aleatória que são apresentados na íntegra no *Apêndice F*. Para que pudéssemos transformar os dados dispersos em dados organizados, criamos uma ficha síntese, que nos permite focar o nosso olhar para os dados (*apêndice G*). A análise deste questionário foi dividida em quatro tópicos. Primeiramente, verificamos por meio das respostas fornecidas pelos estudantes, se eles acreditavam ou não nesta relação e, como eles defendiam seus pontos de vistas. A maneira na qual eles se posicionaram em relação a esta questão é muito relevante, pois demonstra suas dúvidas e suas certezas. Classificamos as respostas nas seguintes categorias:

- *Afirma categoricamente*
- *Acredita que sim, e não questiona seu conhecimento*
- *Acredita que sim, mas questiona seu próprio conhecimento*
- *Não souberam opinar*

A análise do questionário nos direcionou a indagar qual o tipo de relação que os alunos consideram existir, ou seja, como os fenômenos estão relacionados. Para analisar estes dados, elencamos as seguintes categorias:

- *Um fenômeno existe independente do outro*
- *Um fenômeno interage com o outro*
- *Um fenômeno é capaz de gerar o outro*
- *Estão relacionados entre si, através dos fenômenos eletromagnéticos*
- *Não menciona*

Outro tipo de análise que empreendemos, diz respeito ao tipo de transmissão da força entre os corpos interagentes. Dividimos os dados coletados nas seguintes categorias:

- *Ação a distância*
- *Noção da teoria de campo*
- *Não faz menção ao tipo de interação*

Finalmente, analisando o primeiro questionário e ainda na etapa da *conscientização*, classificamos as idéias e concepções veiculadas em sala de aula nas diferentes zonas do perfil epistemológico. Seguimos basicamente, a divisão feita por Bachelard (1991).

- *Não apresentou zona do perfil definida*
- *Realismo Ingênuo/Senso comum (observação dos fenômenos)*
- *Empirismo (por meio de experimentos)*
- *Racionalismo (Causas no mundo microscópico)*

Esta análise permite verificar em qual estágio de desenvolvimento se encaixa o pensamento do aluno. Baseado nestas categorias, nós vamos classificar o pensamento dos alunos nas duas etapas subseqüentes, ou seja, *desequilíbrio* e *familiarização*, que vai nos permitir dialogar com o nosso referencial.

A etapa da *desequilíbrio* se refere aos encontros realizados no decorrer do curso. Chamamos de *módulos 1 e 2*, as aulas ministradas no primeiro e no segundo semestre,

respectivamente. A estratégia utilizada pelo pesquisador se deu por um processo de dialética e síntese: o estudo dos textos nos permite levantar concepções que são confrontadas com o experimento e, que levanta novas questões conceituais a serem discutidas. Novas técnicas e novos experimentos devem ser criados a fim de verificar a validade destas concepções, num processo contínuo.

Nesta etapa analisamos as transcrições de *seis* encontros realizados. Após transcrevermos todos os diálogos e numerá-los na forma sequencial, fizemos “recortes” dos trechos mais relevantes e, categorizamos nas três zonas do perfil epistemológico: *realismo ingênuo*, *empirismo* e *racionalismo*. Um quadro comparativo foi criado entre o pensamento de conceitos ao longo da ciência e o pensamento dos estudantes em sala de aula. Ainda na etapa da *desequilíbrio*, extraímos alguns trechos para mostrar este processo de análise e síntese, fazendo um “paralelo” entre as idéias de Ørsted e as concepções dos alunos.

A última etapa, a *familiarização*, consistiu nos questionários aplicados no final de cada módulo (*apêndice H1* e *H2*), contendo *quatro* e *três* questões, respectivamente. As respostas na íntegra encontram-se disponíveis no (*apêndice I1* e *I2*) Estes questionários foram baseados nas discussões e experimentos efetuados no decorrer do curso (*apêndice L*), com o objetivo de fazer com que o aluno reflita seu próprio conhecimento e “coloque no papel” sua forma de interpretar os fenômenos. Fizemos uma síntese das idéias para facilitar nossa interpretação a respeito destes dados (*apêndice J1* e *J2*). O *apêndice K* serviu para enquadrarmos as respostas dadas pelos alunos aos questionários, dentro das zonas do perfil epistemológico.

As categorias estabelecidas nesta etapa estão de acordo com as categorias presentes nas etapas anteriores, que tratam do *perfil epistemológico*. Isto foi feito pensando em utilizarmos as categorias comuns, a fim de estabelecer uma relação entre os dados que obtivemos nas diferentes etapas do processo, que vão nos subsidiar na interpretação dos resultados.

Após o encerramento do curso, solicitamos que alguns alunos concedessem-nos uma entrevista, com a finalidade primordial de resgatar e refletir sobre algumas concepções que foram veiculadas e relatadas durante os encontros e aquelas explicitadas por meio dos questionários. A entrevista nos possibilitou estabelecer um diálogo conceitual com os sujeitos aprendizes e verificar “de perto” suas concepções. Estes dados adicionais foram relevantes para nossa análise final, pois ao permitir um contato individual com os estudantes, eles possibilitaram um contato “mais direto” com o sistema cognitivo do aprendiz. No final das

entrevistas, foi solicitado aos entrevistados que esboçassem seus próprios *perfis epistemológicos*, que se encontra no *apêndice M*. O capítulo seguinte apresenta os dados e os resultados obtidos.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

“se o professor de Física fizesse várias sondagens psicológicas, ficaria admirado com a variedade de racionalizações individuais para um mesmo conhecimento objetivo” (BACHELARD, 1996, p. 290).

Este Capítulo está diretamente relacionado ao estudo empírico do trabalho realizado em sala de aula. Sua finalidade básica é apresentar as análises de “parte” do material coletado para, posteriormente, confrontá-los com o referencial epistemológico bachelardiano. Desta forma, pretendemos subsidiar a interpretação da nossa perspectiva teórica. A análise dos registros se pautará em três instrumentos de análises utilizados durante a pesquisa: *transcrições de “parte” das discussões gravadas; respostas dos alunos aos questionários elaborados e; análise das entrevistas realizadas depois de transcorridos aproximadamente dois anos de encerramento do curso.* Dividiremos este capítulo em *quatro* seções. A *primeira seção* se refere à etapa da *conscientização*. Nela, vamos fazer uma análise do questionário inicial, respondido pelos integrantes do curso no primeiro dia de aula (*apêndice E*) e cujas respostas encontram-se no *apêndice F*. Esta *primeira seção* está dividida em *quatro subseções* que analisam individualmente algumas características das respostas dos estudantes, com base nas categorias elaboradas pelo pesquisador (*Apêndice G*). Ela propicia um primeiro contato com as concepções dos alunos. A *seção dois* trata de uma das principais etapas do processo de pesquisa, que se refere à análise da “falas” dos sujeitos, durante o curso proposto. Ela aborda o tempo da *desestruturação* do conhecimento, em que, por meio de uma metodologia de análise e síntese, fazíamos o estudo de um determinado texto histórico e procurávamos realizar alguns experimentos geradores de desencadeamento do processo cognitivo. Estes procedimentos propiciavam ao professor alguns elementos fundamentais para discussão dos conceitos envolvidos na temática estudada e, desta forma, os alunos expressavam verbalmente seus pensamentos. No final desta seção, categorizamos as idéias veiculadas pelos estudantes, nas diferentes zonas do perfil epistemológico proposto por Bachelard, visando compará-las com as regiões do perfil epistemológico na formação dos conceitos na história do *eletromagnetismo*. A *terceira seção* foi definida como a etapa da *familiarização* e se dedica a análise dos questionários aplicados no final de cada *módulo* do curso: os alunos responderam

a um questionário síntese no final do *primeiro semestre* e, um no *final do curso* (segundo semestre). Estes questionários visam sintetizar o conhecimento estudado, sendo uma oportunidade para o aluno pensar no que já havia sido pensado antes. A *quarta seção* nós dedicamos às análises das entrevistas feitas com alguns estudantes (*quatro alunos*) após o encerramento do curso. Ela representa também um repensar o conhecimento por meio de um diálogo com o pesquisador.

4.1 Etapa da conscientização: análise do questionário inicial coletado no primeiro dia de aula.

No primeiro dia de aula, realizado pelo curso “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*”, era necessário que o pesquisador pudesse conhecer melhor os sujeitos da pesquisa. Nossa amostra era heterogênea, uma vez que não tinha sido exigido pré-requisito para a participação do aluno no curso proposto. Havia alunos que tinham um conhecimento básico na temática proposta, outros que tiveram formação técnica no ensino médio e possuíam experiência profissional na área e, finalmente, alguns que já haviam cursado a disciplina oficial de *Física IV e Eletromagnetismo*, que aborda este conteúdo. Apesar disto, os alunos não haviam estudado o eletromagnetismo numa abordagem histórica, o que de certa forma, nivelavam seus conhecimentos.

A História da Ciência revela sumariamente que, no início, a eletricidade e o magnetismo eram considerados fenômenos distintos. Estes fenômenos foram unificados em 1820, por meio de um experimento realizado por H. C. Ørsted. Nas interpretações posteriores, havia correntes teóricas que defendiam a ação entre *dipolos magnéticos* e a *ação eletrodinâmica*. Mais tarde, Faraday mostra que é possível esses fenômenos se transformarem uns nos outros, pensando intuitivamente em linhas físicas de força magnéticas. Finalmente, Maxwell sugere que a luz consiste em um fenômeno eletromagnético e, que ondas eletromagnéticas podem se propagar através do espaço. Baseado nestas informações, nós elaboramos uma questão simples (*Apêndice E*) a fim de verificar o conhecimento dos estudantes possuíam a respeito do conteúdo abordado. Esta questão era a seguinte: *Em sua opinião existe relação entre fenômenos elétricos e fenômenos magnéticos? Argumente sua resposta defendendo seu ponto de vista.*

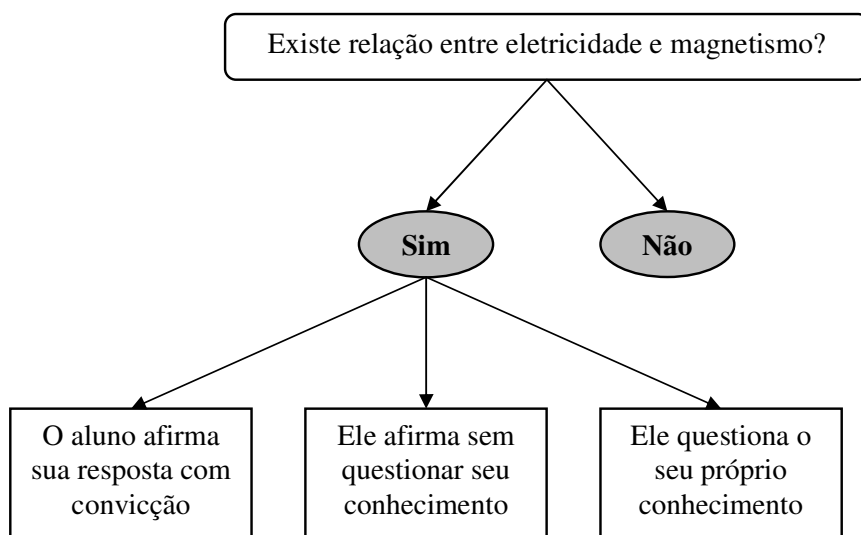
A idéia básica com esta pergunta foi “mapear” o perfil epistemológico dos alunos em relação aos conceitos que iríamos estudar, por meio de três zonas do perfil (*realismo ingênuo*,

empirismo e racionalismo) e, assim, ter alguns subsídios para elaboração do nosso plano de estudo nos encontros posteriores.

Baseado na análise dos questionários (*apêndice F*), nós elaboramos quatro fichas de análises para que elas pudessem sintetizar nossos dados, as quais se encontram disponíveis no *apêndice G*. Cada ficha foi responsável por nos fornecer informações relativas a uma questão particular. Considerando a ficha de análise como uma matriz, podemos imaginar que cada coluna representa uma categoria que criamos para ser analisada e, cada linha é destinada a identificação do estudante que participou do encontro e respondeu ao questionário. Na intersecção de ambas, é possível registrar se esta categoria estava ou não presente no sujeito investigado, baseado na análise minuciosa dos questionários.

A primeira ficha de análise visa apenas avaliar a resposta do aluno em função do conhecimento que ele possui e, como ele concebe este conhecimento. Portanto, trata-se de uma análise de ordem pessoal. A etapa da conscientização traz à tona algumas insatisfações do sujeito com a sua própria forma de pensar. O *Quadro 8* esboça o que relatamos anteriormente.

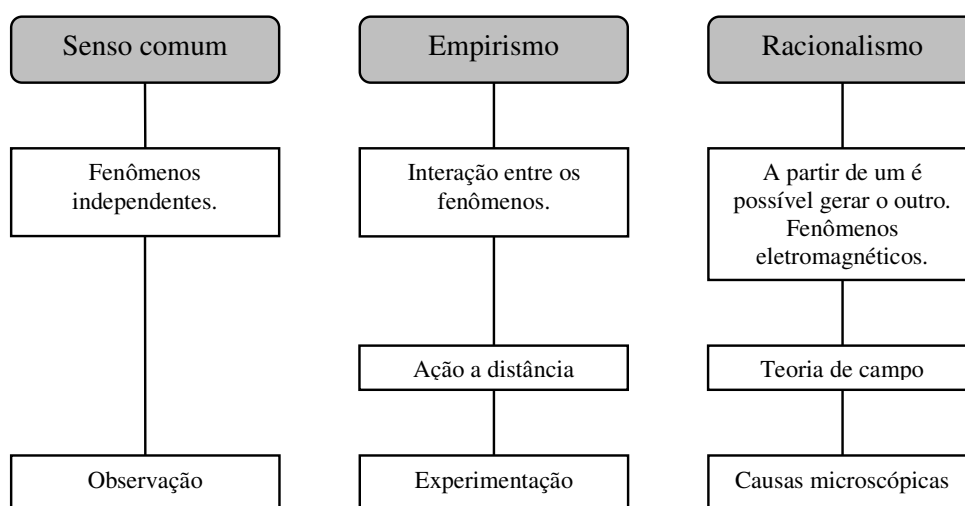
Quadro 8 – Quanto à existência de interação e ao próprio conhecimento do aluno



As demais fichas de análises (*segunda, terceira e quarta*) estão diretamente relacionadas ao conteúdo e, visam averiguar se as respostas possuem características que se enquadram dentro das categorias bachelardianas referentes às zonas do perfil epistemológico.

Como já tivemos oportunidade de mencionar, estas regiões não possuem fronteiras bem definidas e, a definição de um conceito pode ter características que se enquadram em mais de uma zona⁷¹ e interpretações que podem não apresentar uma determinada zona do perfil⁷². Estas estratégias visam justamente delimitar elementos que possam ser enquadrados em uma, ou outra zona do perfil. No entanto, estamos cientes que a análise possui uma “certa dose” de subjetividade tanto por parte do aluno que responde ao questionário, quanto por parte do pesquisador que o interpreta. O *Quadro 9* sintetiza as categorias definidas para a análise.

Quadro 9 – Enquadramento das características presentes nas diferentes regiões do perfil



No decorrer do trabalho vamos nos pautar nas categorias definidas nos dois quadros acima. A seguir vamos apresentar os resultados e analisar cada temática.

4.1.1 Quanto a relação entre os fenômenos e ao próprio conhecimento do aluno.

Um primeiro aspecto a ser destacado, é que todos os estudantes sem exceção afirmaram existir uma relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Apenas um aluno

⁷¹ Como veremos por meio dos dados, algumas respostas dos estudantes apresentaram elementos que puderam ser classificados em mais de uma zona do perfil epistemológico. Por este motivo a soma das porcentagens excedeu a 100%.

⁷² No caso do tipo de ação entre os fenômenos, consideramos que a *ação a distância* relacionada ao *empirismo* e a noção de *campo* ao *racionalismo*. No entanto, sabemos que o modelo a *ação a distância* possui predições teóricas que permitiriam enquadrá-las na zona do racionalismo, assim como, a noção de *campo* em alguns aspectos poderia ser enquadrada no empirismo. Inexiste para esta análise, a zona referente ao senso comum.

reconheceu que não era capaz de opinar, embora ele também tenha respondido à questão. *Dezesseis* alunos responderam a este questionário. Poucos alunos (12,5%) responderam categoricamente que existe a relação entre esses dois fenômenos. Um quarto (25%), afirmam acreditar que de alguma forma eletricidade e magnetismo estão relacionados. No entanto, observamos que a maioria (56%) coloca em dúvida o seu próprio conhecimento a respeito da questão formulada. A *Tabela 1* apresenta a porcentagem de respostas enquadradas nas categorias definidas pelo *Quadro 8*.

Tabela 1 - Quanto à relação entre os fenômenos e ao próprio conhecimento do aluno

	Número de alunos	Total (%)
<i>O aluno afirma com convicção</i>	02	12,5
<i>Ele acredita que sim, e não questiona seu conhecimento</i>	04	25
<i>Acredita que sim, mas questiona seu próprio conhecimento</i>	09	56
<i>Não souberam opinar</i>	01	6,5

A categoria que merece atenção em nossa análise, diz respeito aos alunos que acreditam que sim, mas que questionam seu próprio conhecimento. Só para citar alguns exemplos: o estudante CAR afirma que “*sinceramente não sabe*”, “*não faz idéia*” e “*não se sente capaz de diferenciar esses fenômenos*” e diz que estes fenômenos são “*forças ocultas*” dos corpos; SER diz que não consegue “*abstrair*” para explicar como se dá a relação e tudo fica muito “*nebuloso*”; o aluno LUC acredita que não é possível afirmar esta relação “*com o grau de conhecimento que ele possui*”; EDE considera ser “*necessária uma complementação dos seus conhecimentos para uma melhor argumentação*” e, questiona se o conhecimento que ele possui é devidamente classificado pelos critérios aceitos pela *comunidade científica* ou pela própria “*verdade*” científica; e finalmente, o estudante MÁR disse que é difícil classificar estes fenômenos e, que a “*sua opinião não foi formada por ele, mas [foi] inserida em sua mente*”.

Estas “falas” revelam como uma questão “aberta” pode contribuir para que o aluno tome consciência das lacunas existentes no seu ato de pensar. Além disso, a última fala sugere que a “transmissão” do conhecimento tem sido vertical e dogmática.

4.1.2 Tipo de interação entre os fenômenos elétricos e magnéticos.

Como vimos todos os estudantes disseram que há uma relação entre a *eletricidade* e o *magnetismo*. Ora, se há uma relação, como esta relação ocorre? Na *primeira categoria* foram classificadas as respostas que consideram que embora exista a relação, os fenômenos não necessariamente têm que estar relacionados, podendo perfeitamente, em alguns momentos, serem considerados fenômenos distintos. Podemos imaginar que esta categoria concebe que os fenômenos *elétricos* ocorrem por meio da fricção do material e, que os fenômenos *magnéticos* estão intrinsecamente relacionados aos ímãs, análogo as primeiras concepções históricas. Isto nos faz atribuir a esta categoria uma concepção de *senso comum*. Outra categoria relacionada ao tipo de interação, se relaciona historicamente a algo semelhante a concepção proposta por Ørsted que sugere a simples *interação* entre os fenômenos. A concepção de interação, a nosso ver, está intrinsecamente relacionada ao *empirismo*. À medida que o fenômeno elétrico poder *gerar* o magnetismo, ou, o movimento de um ímã gerar a eletricidade, pode-se relacionar esta concepção aos fenômenos de indução eletromagnética proposto por Faraday. A idéia que sugere que ondas elétricas e magnéticas se movem simultaneamente, através do espaço por meio das ondas eletromagnéticas, foi codificada em outra categoria. Porém, acredita-se que ambas podem ser enquadradas na região da filosofia de pensamento *racionalista*. Explicitaremos estas categorias por meio da *tabela 2*.

Tabela 2 - Quanto à interação entre os fenômenos

	<i>Número de alunos</i>	<i>Total (%)</i>
<i>Um fenômeno existe independente do outro</i>	04	25
<i>Um fenômeno interage com o outro</i>	07	44
<i>Um fenômeno é capaz de gerar o outro</i>	05	31
<i>Estão relacionados entre si através dos fenômenos eletromagnéticos</i>	03	19
<i>Não menciona</i>	02	12,5

*A soma das porcentagens excede 100% porque alguns alunos foram enquadrados em mais de uma categoria

Um grupo de (25%) dos alunos responderam que embora haja a relação entre estes fenômenos, eles pode em alguns momentos ser considerados distintos. Por exemplo, o estudante AND considera que o funcionamento de uma lâmpada incandescente não precisa da presença do fenômeno magnético. Da mesma forma, para o aluno NEL, ligar uma lâmpada ou

um chuveiro fornece indícios de que estes fenômenos podem existir independentemente um do outro, não sendo necessário o fenômeno magnético estar presente. Ambos *não* consideram que a corrente elétrica, gerada para o funcionamento destes equipamentos, está relacionada aos fenômenos magnéticos presente nas hidrelétricas. Para AND, em um ímã só existem fenômenos magnéticos; contrariamente, se atritarmos um determinado objeto, nós somente teremos a presença da eletricidade estática. O aluno NET salienta que se “encarmos” estes fenômenos macroscopicamente, como o que foi exposto anteriormente, eles podem ser considerados distintos. Uma carga elétrica ou partícula “*estática*”, segundo DAN, confere aos objetos o poder de atração ou repulsão sobre outros corpos. A palavra em destaque nos fazer refletir se tem sentido microscopicamente falar em “partícula estática”.

A *segunda categoria* sugere apenas a simples *interação* entre os corpos, geralmente considerando a interação entre uma corrente elétrica, que são cargas elétricas em movimento, e a agulha imantada de uma bússola. A maioria se enquadra nesta categoria, visto que, muitos estudantes já ouviram falar a respeito do experimento realizado por Ørsted que deu origem ao eletromagnetismo e, o utiliza freqüentemente como exemplo. Para resumir nossa análise notamos que os estudantes ADR, NET, LUC, MAR, MÁR, SER e WAG sustentam suas hipóteses na explicação que foi relatada anteriormente. Um detalhe interessante a ser notado, é que, o aluno NET supõe que se o ímã estiver parado ou se movendo com a mesma velocidade da carga, ou seja, no mesmo referencial, teoricamente, não haverá interação entre eles. Ao relatar este experimento, ADR diz que há *interação* entre “forças” elétricas e “forças” magnéticas. Na verdade, não se trata de interação entre *forças*! Uma “*carga elétrica se movendo através de um campo magnético sofre a ação de uma “força” magnética*”. Esta interação depende da velocidade da carga e do sentido do campo magnético.

Por meio da eletricidade é possível obtermos fenômenos magnéticos e vice-versa. Arago, ao enrolar um fio condutor e fazer passar por ele uma corrente elétrica mostrou que é possível a construção de um ímã artificial ou eletroímã. Faraday mostrou que se movermos um ímã próximo a um fio condutor, *a variação do fluxo magnético gera uma corrente elétrica*. Baseado nestas idéias os estudantes FAB, LUC, NEL e VIT defenderam os seus pontos de vistas apontando a relação existente entre os fenômenos eletromagnéticos.

Em nossa *última categoria* de análise, encontramos a idéia de que *luz e ondas eletromagnéticas* caracterizam-se pela propagação simultânea dos *campos elétricos e magnéticos* perpendiculares entre si. O aluno NET questiona o que vêm a ser exatamente a idéia abstrata de *campo*? Em seu questionário, aparecem os termos “propagação” e a palavra

“éter”, que era considerado o *meio* por onde as ondas luminosas e eletromagnéticas se propagavam. O estudante AND cita a palavra *microondas*, que se refere a *propagações eletromagnéticas*. O Estudante ALI considera as “interpretações” de Maxwell, sem definir exatamente o que isto significa. Provavelmente, ele está se referindo as equações que sintetizaram os fenômenos eletromagnéticos.

Na análise, as porcentagens mais significativas expressam as idéias de que os fenômenos *interagem* entre si, e que por meio de um fenômeno pode-se de *gerar* o outro. Isto provavelmente pode estar relacionado ao fato de representar uma relação bastante presente no cotidiano dos alunos, onde motores, eletroímãs e geradores estão presentes. A primeira interpretação está relacionada, a nosso ver, com o *empirismo*; enquanto a segunda interpretação está diretamente relacionada, com o *racionalismo*. Os dados apontam uma predominância da região do *empirica*.

4.1.3 Tipo de transmissão de forças entre os fenômenos.

Basicamente, podemos classificar a interação entre os fenômenos em dois tipos: a *ação à distância* que prevaleceu até primeiras décadas do século XIX e a *concepção de campo* sugerida intuitivamente por Faraday e, que mais tarde Maxwell desenvolve teoricamente.

Na análise realizada, às vezes, esta classificação vem implícita. Um exemplo disso é o questionário respondido pelo aluno ALI que sugere uma relação entre os fenômenos elétricos, magnéticos e gravitacionais. Estes fenômenos são regidos pela lei do inverso quadrado da distância e estão relacionados à *ação a distância* entre os corpos interagentes. O questionário respondido pelo estudante MÁR relata que a corrente elétrica age sobre a agulha magnética da bússola, porém, a reação da bússola sobre o fio condutor não é observada (embora ela exista). Segundo o aluno, esta relação “parece ser” *unilateral*.

Tabela 3 – Tipo de transmissão de força entre os fenômenos

	Número de alunos	Total (%)
<i>Ação à distância</i>	04	25
<i>Idéia de campo</i>	07	44
<i>Não faz menção ao tipo de interação</i>	07	44

*A soma das porcentagens excede 100% porque alguns alunos foram enquadrados em mais de uma categoria

O aluno ADR deixa explícita sua interpretação, pois para ele, os fenômenos possuem características semelhantes e *agem a distância* e apresentam forças *atrativas* e *repulsivas*. Quando o estudante NET descreve sua “visão macroscópica” dos fenômenos, ele utiliza a palavra *atrair*, que implicitamente sugere a *ação a distância*.

A concepção de que existe um campo no entorno do objeto, responsável pelo seu poder de atração, também está fortemente presente nas concepções dos alunos. O aluno ALI sugere que *o campo é gerado por partículas* e, talvez considerando as “diferentes” fontes de campo, será possível entender e responder a questão apresentada. O estudante NET também apresenta em sua resposta, uma forte concepção de que os *campos* são as “causas” destas relações. Mas, segundo ele, o *movimento de cargas* é responsável por *gerar* o campo.

Um detalhe interessante é como o aluno NET imagina a configuração das linhas de campo. Para ele, as *linhas de campo magnético* são sempre *fechadas* “como se não houvesse nem origem e nem fim” [destino]. Por isso, segundo ele, não existem “monopólo magnético”. Para o aluno, no caso do *campo elétrico*, as linhas de campo possuem uma origem ou um fim [destino] dependendo do sinal da carga considerada.

Uma porcentagem de 44% dos estudantes não fez menção ao tipo de transmissão de força entre os corpos. Uma porcentagem de 25% das respostas sugere que os corpos obedecem à *ação a distância* e, a maioria 44% que existe a presença de um *campo* no entorno dos corpos. Adotamos a concepção da transmissão de força relacionada à *ação a distância* como sendo pertencente à região do *empirismo*⁷³ e, o modelo da *teoria de campo* como representante do *racionalismo*, segundo a divisão sugerida por Furió e Guisasola (1998).

4.1.4 Zonas do Perfil Epistemológico apresentado pelos alunos.

Na construção e na aquisição de conceitos, cada aprendiz apresenta um perfil epistemológico peculiar. Podemos considerar grosso modo, o perfil epistemológico como sendo um gráfico de barras, onde no eixo das abscissas encontram-se as diferentes zonas, regiões ou estágios de desenvolvimento. O eixo vertical ou eixo das ordenadas representa o quanto uma determinada zona do perfil está ou não presente no sujeito. No nosso caso, vamos nos preocupar apenas em verificar a presença de determinadas zonas do perfil, que foram

⁷³ O modelo da *ação a distância* entre os corpos que *agem* entre si, pode ser considerado como pertencente à zona do *racionalismo*, uma vez que envolve predições teóricas. Além disso, muitos cientistas atualmente trabalham nesta linha de pesquisa. No entanto, optamos por classificá-lo na região do *empirismo*.

encontradas nas respostas dos alunos aos questionários analisados. Para isto, foi necessário criar critérios para enquadrar estas “falas”, que são mostrados entre parênteses na *tabela 4*.

Alguns alunos (19%) não apresentaram em suas “falas” indícios que pudessem ser classificados em uma determinada região do perfil epistemológico.

Tabela 4 – Zonas do Perfil Epistemológico apresentado pelos alunos.

	Número de alunos	Total (%)
<i>Não apresentou perfil definido</i>	03	19
<i>Realismo ingênuo (observação dos fenômenos)</i>	05	31
<i>Empirismo (por meio de experimentos)</i>	06	37,5
<i>Racionalismo (Causas no mundo microscópico)</i>	06	37,5

*A soma das porcentagens excede 100% porque alguns alunos foram enquadrados em mais de uma categoria

A categoria do *realismo ingênuo*, que se refere ao senso comum, foi atribuída aos alunos (31%) que buscaram explicações em “fatos observáveis” ou em “fatos cotidianos”. Os estudantes AND e NEL atribuíram a observação de que lâmpadas, chuveiros ou uma caneta atritada apresentam fenômenos essencialmente elétricos; ou ainda, que um simples ímã, caracteriza-se apenas pela presença de fenômenos magnéticos. O aluno NET também se baseia nas “observações cotidianas” de uma caneta atritada ou de um ímã permanente, os quais ele denomina de *efeitos macroscópicos*. A aplicação da energia que consumimos, foi veiculada pelo estudante FAB para explicar os fenômenos. A relação entre os fenômenos é “visível (observável)”, segundo SAL. Ele cita diversos fenômenos, inclusive as descargas atmosféricas (*raios*).

A maioria das respostas se divide em (37,5%) entre as categorias *empirismo* e *racionalismo*. No *empirismo* classificamos as respostas que sugerem a execução de alguns experimentos para demonstrar a existência desta relação. No caso do *racionalismo*, enquadramos as repostas que possuem um caráter mais abstrato. Por meio do pensamento, da reflexão, o aluno busca a explicações se pautando em uma *visão microscópica* do fenômeno.

Na categoria do *empirismo*, geralmente os alunos sugerem alguns experimentos básicos: passar uma corrente através de um fio condutor para verificar a influência da agulha magnética (*experimento de Ørsted*), passar uma corrente pelo solenóide e verificar que ele se comporta como um ímã comum (*Arago*), ou ainda, movimentar um ímã e verificar a indução de uma corrente elétrica no fio condutor (*Faraday*).

O *racionalismo* é evidenciado pelo aluno ADR que diz que os fenômenos elétricos e magnéticos têm suas causas no “*mundo microscópico*”. ALI imagina que *campos e forças são gerados por partículas* que, segundo NET e LUC nada mais são, do que *cargas em movimento*. O estudante MAR diz que a matéria é constituída de átomos e a movimentação destes “entes” confere ao material a propriedade de ele exercer ou sofrer influência sobre outro corpo. O aluno FAB imagina que “*o movimento circular [angular] do elétron é o causador do magnetismo*”.

Distribuímos as respostas nas categorias que significam as diferentes zonas do *perfil epistemológico*. Como existe uma coexistência de concepções na mente do aluno, alguns estudantes apresentaram em suas “falas”, dados que puderam ser enquadrados em mais de uma categoria. Um exemplo disso é que, os estudantes NET e FAB apresentaram respostas divididas nas três categorias de análises. Sendo assim, a somatória das porcentagens excedeu o valor de 100%.

Por meio da *etapa da conscientização*, realizada por este questionário inicial, foi possível conhecer as características da nossa amostra. Sendo assim, foi possível verificar que a estrutura do nosso curso deveria contemplar o estudo de textos históricos que, abordassem o período anterior e posterior a proposição do eletromagnetismo e, inclusive este período da descoberta do *eletromagnetismo*. No entanto, o principal objetivo desta etapa é que o aluno possa conhecer e trazer à tona algumas de suas concepções e perceber que o conhecimento científico não é uma “receita” a ser seguida. Se entendido como um processo, ele não possui um início e nem um fim. Ele vai sendo constituído por um *processo dialético* de análise e síntese.

4.2 Etapa da *desequilíbrio*: um olhar sobre o *perfil epistemológico* em sala de aula

Esta *seção* está relacionada à principal etapa da coleta de dados e ao desenvolvimento do curso. Em cada encontro realizado selecionávamos um trecho de alguns textos históricos relevantes sobre a *eletricidade*, o *magnetismo* ou ao *eletromagnetismo* para que pudéssemos trazer ao conhecimento dos alunos os conceitos históricos e, a partir daí, “*desequilibrar*” a mente do aprendiz e “*desencadear*” o processo cognitivo. Utilizamos principalmente textos da coleção do “*Source Book on Physics*”, que foram traduzidos para o português pelo pesquisador, apenas com a finalidade de serem interpretados e compreendidos

pelos estudantes. Alguns artigos, já traduzidos relativos à temática proposta, também foram utilizados. À medida que os textos iam sendo lidos e estudados, surgiam questões e discussões que o professor explorava para instigar os alunos e conduzir as discussões das idéias durante os encontros realizados. Alguns experimentos foram propostos e executados, a fim de que, houvesse um processo dialético entre a *razão* e a *experiência*. Na medida em que os textos sugeriam a compreensão de conceitos, eles eram explorados por meio dos experimentos e, os experimentos auxiliavam a reconduzir questões a serem pensadas e analisadas pela teoria. Trata-se de um processo contínuo e infinito.

Selecionamos *seis encontros*, que foram denominados de *transcrição 1* a *6* e que podem ser consultados no *apêndice C*, para efetuarmos nossas análises. Estes encontros foram transcritos e analisados a fim de classificar as “falas” dos participantes do curso de acordo com o *perfil epistemológico* apresentado pelos alunos. É necessário esclarecer que a análise é subjetiva. Foram criados alguns critérios para tentar identificar as *três* zonas do perfil: *realismo ingênuo*, *empirismo* e *racionalismo*. Outro aspecto relevante é que nem todos os estudantes que participaram dos encontros foram analisados, pois como a participação era *oral* e *optativa* e, ainda, nossa amostra era *heterogênea*, alguns alunos se expressaram mais, outros menos.

4.2.1 Realismo ingênuo

- *senso comum versus conhecimento científico*

As concepções de senso comum muitas vezes estão arraigadas no imaginário do sujeito. Semelhantemente ao que aconteceu na História da Ciência, especificamente, no *magnetismo* em que algumas propriedades místicas foram atribuídas à magnetita, segundo nos contam Bartholomew (1935) e Lindsay (1940), em sala de aula, foram discutidas algumas questões relativas ao senso comum.

Ao analisarmos a (*transcrição 1*), o aluno SAL questiona se era plausível as pessoas acreditarem em propriedades místicas e miraculosas que, “não faz sentido” do ponto de vista científico atual.

1. SAL: Eles [os povos antigos] chegaram tentar uma experiência “esdrúxula” como esta?
2. PROF2: Sim! Eles acreditavam (...)

3. PROF1: Semelhante à crença de nossos avôs que acreditavam que chupar manga e beber leite faz mal (...)
4. PROF2: Da mesma forma que dizer que colocar uma garrafa d'água próximo ao medidor de energia elétrica, diminui o consumo dessa energia.
5. CAR: As pessoas falam que CD pirata estraga o aparelho reproduzidor de CD.
6. SAL: É mesmo! Se não tem nenhum contato mecânico entre eles, isto é um absurdo (...). Isto é porque existem os direitos autorais e, “eles” não querem que as pessoas copiem o CD.
7. PROF2: Percebam: é mito! Não é um conhecimento sistematizado.
8. CAR: E este negócio que eles falavam que a magnetita cura dor de cabeça (...), e se não curasse, o que eles diziam?
9. PROF1: E se coincidisse da dor de cabeça realmente passar? Notem que não tem como provar (...).
10. SAL: Desde que o mundo é mundo isto existe! Hoje em dia, as pessoas ainda compram colchões magnéticos para cura de doenças (...)

As (passagens 3, 4 e 5) evidenciam fenômenos característicos de senso comum. Quantas vezes já não ouvimos falar que chupar manga com leite faz mal? (passagem 3) Principalmente os povos antigos possuíam esta crença. Há relatos que contam que no tempo da escravidão, os “coronéis”, para preservar o pomar de frutas, contavam estes tipos de “estórias” para que os escravos não comessem as frutas. Na época do racionamento de energia elétrica, surgiram “boatos” que colocando garrafas de plástico contendo água sobre o medidor de energia, o consumo de energia diminuiria (passagem 4). Alguns moradores procederam desta forma e relataram que o resultado foi “positivo”, ou seja, houve uma diminuição do consumo (...). Outro exemplo está relacionado ao fato de que o CD “pirata” estraga o aparelho reproduzidor (...). O que existe de verdadeiramente científico nestas questões?

Na (transcrição 3) o professor nos conta um caso que ocorreu na história da eletricidade com Benjamin Franklin:

183. PROF2: Eu posso fazer uma observação? Esta questão aqui. Uma questão que era discutida não só nos Estados Unidos, mas na Europa. A questão das pontas atraírem o raio. Tem uma história interessante: Franklin propõe que os melhores pára-raios deveriam ser pontiagudos. Neste período, Inglaterra e Estados Unidos estavam em processo de separação. O que o rei faz? “Bota” um decreto. Existiam duas teorias: Uma era que a melhor maneira de fazer um pára-raios era através de extremidades *pontiagudas*. A outra, que a melhor maneira de fazer um pára-raios é com *esfera*. Pontaguda: era proposta por Franklin. Esfera: era proposta por um pesquisador inglês. O rei “baixou” um decreto em que os pára-raios deviam ter pontas esféricas (...)

Ora, é um absurdo querer mudar a “lei da natureza” por meio de um decreto. A ciência descreve o comportamento dos fenômenos. Ela é passível de verificação. Ao contrário, o senso comum está diretamente relacionado a crença que o indivíduo possui.

Na (*transcrição 3*) encontramos uma breve discussão entre o *conhecimento científico* e o *conhecimento usual ou de senso comum*.

224. PROF2: Tem alguns experimentos que as pessoas fazem (...). Cara, eu não acredito (...). Elas colocam a mão (...), em chumbo derretido (...). Você sabe aquele experimento que o cara anda sobre a brasa, é o mesmo princípio. Você está com a mão úmida. Você põe a mão em chumbo derretido. Você tem uma evaporação extremamente violenta e rápida da água e, o vapor d’água é um isolante extremamente grande. Então você não queima a sua mão. É o mesmo que acontece com a sola do pé. Você está descalço. Você pisa na grama molhada e na hora que você passa sobre a brasa, a água evapora rapidamente e forma aquele “colchão isolante” e você não se queima. É uma *explicação científica*! Você faria isto?
225. SAL: Se o senhor falar isso pra minha avó, ela “bate” no senhor. Ela fala que tem o santo “não sei lá o quê (...). Óh! O senhor sai de lá debaixo de “pau de macarrão”. Eu “juro por Deus”!

O realismo ingênuo representa a primeira imagem que ofusca aquilo que deveríamos realmente saber. Trata-se de um *obstáculo* ao conhecimento que precisa ser eliminado. É evidente que muitos alunos universitários já não apresentam este *estágio de pensamento*, ou seja, o nível desta zona do perfil é quase inexistente. Porém, é possível que alguns alunos ainda possuam algumas concepções de senso comum.

- *Os obstáculos epistemológicos ao aprendizado da eletricidade*

Neste tópico queremos mostrar que a *observação* está impregnada de *obstáculos ao conhecimento científico*. Já discutimos em nosso referencial, que o desenvolvimento da história da eletricidade foi prejudicado por alguns obstáculos, mas que, a superação destes obstáculos conduziu os cientistas a buscarem explicações sobre a essência dos fenômenos. Em sala de aula, trabalhamos com esta questão na (*transcrição 3*). Durante o estudo do texto relativo ao estudo, de Benjamim Franklin, apareceram alguns destes obstáculos. A seguir apresentamos um trecho das discussões:

34. PROF1: Então, neste trecho ele compara duas pessoas estando isoladas, e outra que está no solo. Uma esfregando o tubo e a outra segurando o tubo. Tanto uma quanto a outra vai parecer eletrificada em relação à pessoa que está no solo.

35. PROF2: Vocês entenderam a situação?
36. SAL: Uma pessoa isolada (...)
37. PROF2: É. Você isolado. Eu também estou isolado. Eu eletrizo o tubo. Você segura o tubo. Nós estamos isolados. Daí vem o SER que não está isolado e, nós vamos estar eletrificados em relação a ele.
38. SAL: Se o SER encostar-se ao tubo, “faísca” no SER. Se um de nós encostarmos no SER, “faísca” nele.
39. PROF2: Agora se a gente encostar um no outro, o que acontece?
40. SAL: Depois da gente tocar no SER?
41. PROF2: Vamos supor que eu estou com o bastão e você está atritando o bastão. Você está com uma pele atritando e a gente não se toca. O que acontece se a gente apontar o dedo um em direção ao outro?
42. SAL: “Faísca” também.
- PAUSA...
43. SER: “Faísca” também!
44. PROF2: Por quê?
45. SAL: Porque eu não vou conseguir pôr a mesma carga que tinha no bastão, no SER.
46. PROF2: E porque nós “faiscamos”?
47. SAL: Porque a diferença de potencial entre os dois corpos é diferente.
48. PROF2: Entre mim e você?
49. SAL: Exatamente.
50. PROF2: E porque “faísca” entre mim e o SER, e entre o SER e você?
51. SAL: Eu acumulei uma carga estática. O SER está com o mesmo potencial da terra. Se eu encostar o tubo no SER. “FOGO”!
52. PROF2: A intensidade do choque que nós vamos levar ou choque que o SER vai levar (...). Qual choque é o maior? Entre mim e você, entre eu e o SER, ou entre você e o SER?
58. SAL: O choque vai ser maior entre nós.
59. PROF2: Por quê?
60. SAL: Porque a diferença de potencial é maior. Bem maior que o SER.
61. SAL: Porque ele tirou elétrons.
62. PROF2: Que elétrons (...)?
63. PROF2: Ele nem sabia que existiam elétrons (...)

Verificamos a presença de obstáculos *substancialistas* nas “falas” dos estudantes (passagens 38, 42, 43 e 51) nas quais os alunos utilizam as palavras “faísca” nas três primeiras passagens e “fogo” na última. Durante a “entrevista” o professor acompanha a linguagem dos alunos (passagem 46 e 50). Estas discussões mostram como o senso comum relaciona a eletricidade com a luz e o calor. Na (passagem 61) o aluno SAL relaciona a eletricidade com a presença de elétrons. Em seguida, o professor lembra que no período estudado, não havia sido feito a descoberta dos elétrons. Num outro trecho, apresentamos a utilização de analogia entre a eletricidade e um fluido (água).

64. SAL: Pelo que eu entendi é o seguinte: Se tem um copo cheio de água, o outro vazio, você encostou, os dois copos adquirem o mesmo nível. Frustrante para mim! (...)

65. SER: Mas, eu continuo abaixo. (*Com o potencial abaixo*)
66. SAL: É. Você continua com o mesmo potencial: abaixo.
67. PROF2: Você prestou atenção no processo?
68. PROF2: Qual é o processo?
69. PROF1: Antes de tudo.
70. PROF2: Antes de tudo, qual é o encadeamento lógico do experimento?
71. PROF2: Vou usar a analogia que você usou.
72. PROF2: Na hora que nós subimos na plataforma isolante, meu copo está pela metade, seu copo também está pela metade. Daí a idéia: eu passo ou você me passa uma quantidade de água. Ai os copos ficam desequilibrados. Daí quando a gente põe em contato, o que quê acontece? Os copos voltam para posição inicial, quando a gente subiu no isolante. Quer dizer que nós estamos neutros. A gente não tem excesso, nem falta. O SER também não tem excesso nem falta.
73. SAL: Exatamente.
74. PROF2: Esta é a idéia! Isto resume a teoria do “fluido único”! Você tem falta ou excesso de fluido.

Uma vez que o próprio aluno fez uma analogia com um copo de água (passagem 64), o professor explica como a teoria de Franklin pode ser entendida (passagem 72 e 74). Por outro lado, esta teoria teve dificuldades explicar como um *corpo neutro* (que não tem falta nem excesso de fluido) era atraído por outro *corpo eletrizado*.

111. PROF2: Como que com essa teoria a gente explica os fenômenos elétricos conhecidos? Atração, repulsão (...)? Como que um corpo eletrizado atrai um corpo não eletrizado? Por que um corpo eletrizado, atrai um corpo não eletrizado, segundo essa teoria?
114. PROF2: Pelo que ele está dizendo aqui, o que os corpos buscam fazer?
115. ALI: Entrar em equilíbrio!
116. PROF2: Se você tem um corpo com excesso ou falta o que ele tende a fazer?
117. SAL: Se estabilizar com o outro corpo.
118. PROF2: E se ele está com mais ou menos, o que ele tenta fazer?
119. PROF2: Vamos supor que ele está com mais, o que ele tenta fazer?
120. SAL: Perder.
121. PROF2: Se livrar do excesso, passando para outro corpo.
122. PROF2: Se ele tem falta?
123. SAL: Tenta atrair. Tenta acumular mais.
124. PROF2: Acumular mais?
125. PROF2: Repare o seguinte: Toda essa descrição que ele dá é uma eletrização por contato. Você atrita, coloca as coisas em contato e essas coisas em contato se atraem. Observem que há o “toque” entre os corpos.
132. PROF2: Você tem um corpo aqui (*caneta*). Você tem pedacinhos de papel. Você não vê atividade elétrica entre eles. Daí eu pego, eletrizo um corpo. E este corpo aqui está neutro. Por que alguma coisa neutra seria atraída por um corpo eletrizado?
- PAUSA...
133. ALI: Sei lá. Buscando “fluido elétrico”?
134. PROF2: Porque ele vai precisar de fluido elétrico se ele está neutro?

142. SAL: A pergunta é: O que quê este aqui, tem a ver que este aqui está carregado?
143. PROF2: É. Por que esse *corpo não eletrizado* é atraído por esse *corpo eletrizado*?
144. CAL: Se ele está em equilíbrio, por que é que ele vai perder o equilíbrio?
145. PROF2: Mas, este outro não está em equilíbrio.
146. SAL: Não é esse corpo que precisa carregar. É este outro que precisa descarregar.
147. PROF2: Sim, mas se esse precisa descarregar, esse outro aqui está neutro! Se ele está neutro, não tem carga. Está em equilíbrio.
PAUSA...

158. PROF2: O que a gente conclui, então?
159. SER: Que a teoria dele (Franklin) não contempla (...)
160. PROF2: Que a *teoria de Franklin* tem “dificuldade” em explicar a questão (*o problema*) da indução.

Fizemos alguns recortes nas transcrições acima para facilitar sua interpretação. A questão é: porque um corpo neutro é atraído (passagem 111 e 132)? Se ele tivesse mais fluido ele tentaria se livrar (passagem 120). Se ele tivesse menos fluido ele tentaria acumular mais (passagem 123). Mas ele está em equilíbrio! Assim como Franklin teve dificuldades em explicar este fato, o mesmo aconteceu com os alunos em sala de aula (passagens 159 e 160).

Nesta zona do perfil (*o realismo ingênuo*), a simples apreensão dos dados feita pela *observação*, representa dificuldades para interpretação dos fenômenos. Surge a necessidade de avançar um pouco mais. Fazer *experimentações sistematizadas* e *raciocinar* a respeito dos problemas. São as etapas que veremos a seguir.

4.2.2 Empirismo

- *Observar o “objeto” é insuficiente para conhecê-lo completamente*

Surge em sala de aula o questionamento de quais seriam os critérios que Petrus Peregrinus utilizava para identificar os pólos de um ímã, uma vez que, observando o “objeto” é impossível identificar seus pólos (*transcrição 1*).

66. CAR: E como ele sabia quais eram os pólos?
67. PROF1: Ele fazia uma marcação.
68. NET: Mas como ele sabia (...) se este [pólo] aqui é sul ou norte?
69. NEL: Quais eram os critérios?
70. NET: É, porque ele não sabia (...)
71. MAR: Ele pode pintar (...) vermelho é o *norte*, azul o *sul*;
72. NET: Ele tem que adotar uma “referência” pintando um dos ímãs e daí identificando os outros. Um ímã, você sabe que as linhas saem do [pólo] norte e elas entram no [pólo] sul, mas só de olhar, não dá para saber (...)

O estudante NET conclui pela (passagem 72) sobre a impossibilidade de adentrar e conhecer o *âmago* da substância. Simplesmente por meio da *observação* é impossível identificar os pólos. É necessária a *manipulação* e a *experimentação* com o objeto de estudo a fim de conhecê-lo melhor. Na (*transcrição 2*), o professor levou para sala de aula diversos ímãs comerciais pintados nas cores *vermelho* e *azul* a fim de fomentar a discussão. Uma bússola, que possui uma das extremidades pintadas na cor verde, também foi utilizada para identificação dos pólos.

57. PROF1: Eu trouxe três ímãs para gente distinguir os pólos, e trouxe uma bússola (uma das extremidades está pintada na cor verde). Note que eles adotam um padrão pintando os ímãs de “vermelho” e “azul” para pólo *norte* e pólo *sul*, respectivamente.
58. PROF1: Alguém quer vir até aqui pra identificar os pólos?
(*Todos se aproximam da mesa do professor*)
59. PROF1: Esta aqui é uma bússola que vai nos “ajudar” a identificar os pólos.
60. SAL: Gira a bússola e observa: Para lá é o pólo *norte* (...)
61. PROF1: A região da rodoviária é a região *norte* da cidade
62. SAL: Se a ponta pintada aponta para o *norte*, então, a bússola “está errada”.
63. SAL: Esta é uma bússola “lusitana”, ela deveria apontar para lá.
64. SAL: Moral da história: o *norte* é para onde a agulha não está pintada!
65. SAL: “Didaticamente”, eu não estou entendendo (...)
66. NET: Este aqui é o *sul* da bússola e este aqui é o *norte*.
67. CAR: Então, o *norte* aponta para o *sul* da terra não é? O *norte* que é o pontinho verde aponta para o *sul* terrestre.
68. SAL: Ninguém foi “escoteiro” aqui (...)
69. NET: A parte pintadinha é o *sul*.
70. NEL: Isto é só uma convenção (...)
71. PROF1: Aproxime o ímã da bússola (...)
72. CAR: O azulzinho é o *sul*.
73. SAL: É o azulzinho é o *sul*.
74. PROF1: O pólo vermelho é atraído pela parte não pintada.
75. SAL: Sul, porque se o vermelho é o *norte*.
76. NEL: Supondo que o azulzinho é o *sul*, a parte vermelha é o *norte*.
77. NET: A parte vermelhinha atrai a parte pintada.
78. NET: É. O vermelho “puxa” a parte pintada.
- PROF1 - [*Depois de identificado os ímãs o professor os coloca para “flutuar” [se repelirem] no interior de um tubo de ensaio*].
79. TODOS: Oh!
80. CAR: Os ímãs não grudam de jeito nenhum.
81. NEL: Tem uma força entre eles.
82. CAR: Tem uma espécie de “mola” (...)
83. SAL: Tem um lado azulzinho repelindo o [lado] vermelhinho.
84. NET: Ninguém “vê” que o *norte* e o *sul* estão “invertidos”. Aquele ímã “está errado”, foi “pintado de maneira contrária” (...)

O professor tinha em mente um objetivo. Um dos ímãs estava pintado com as cores invertidas e ele queria que os alunos percebessem. Inicialmente, houve uma polêmica quanto a identificação dos pólos da bússola, denominada pelo aluno SAL (passagem 63) de “bússola lusitana”, uma vez que os alunos acreditam que a extremidade pintada teria que ser o pólo *norte*. Na (passagem 67) o aluno CAR observa que o pólo *norte* da bússola aponta para o *sul* terrestre. Segundo NEL (passagem 70), é desnecessário se aprofundar no conhecimento dos *pólos*, uma vez que, segundo ele, é apenas uma *convenção*. Ao identificar por meio da bússola os pólos dos ímãs, o professor os coloca no interior de um tubo de ensaio, de modo que haja força de repulsão entre os ímãs (*apêndice L – fig. 3*). O estudante CAR imagina a presença de uma “mola invisível” entre eles (passagem 82). Finalmente, o estudante NET percebe que um dos ímãs foi pintado com as cores invertidas, pois ele se comporta de maneira “diferente”.

Ao manusearmos dois ímãs podemos apenas inferir sobre suas polaridades. Se os ímãs se atraem, podemos afirmar que se trata de pólos opostos. No caso da repulsão, trata-se de pólos idênticos. Guiados pelo experimento, somos levados a apenas um *conhecimento parcial do objeto*. Entretanto, é importante ressaltar que só é possível afirmar que pólos iguais se repelem e pólos opostos se atraem, por meio da *experimentação* do objeto em estudo ou, por meio de um *instrumento*, no caso, a bússola.

- *O ferro perde rapidamente suas propriedades magnéticas*

Os alunos sabem por experiência que um prego ao ser atritado em um ímã se transforma em um ímã temporário (*apêndice L – figuras 1 e 2*), pois adquire propriedades de atrair materiais ferromagnéticos. O professor questionou o que aconteceria se após colocar uma das extremidades do prego em contato com um dos pólos do ímã, invertêssemos o prego em relação ao ímã. Ora, se ele é atraído em uma posição, é natural que o aluno pense que haverá repulsão ao invertermos o prego.

79. PROF1: Se você aproximar um ímã, vamos adotar que este seja o pólo *norte*. Ele atrairá o ferro. Vamos agora inverter. O que vai acontecer?
80. SAL: Ele vai tentar girar e voltar à primeira combinação.
81. PROF1: Você acha que os pólos se repelem?
82. SAL: Ele vai tentar voltar (...) detalhe: Se você conseguir magnetizar o prego. Tem que ter um “tempo” e “intensidade” suficiente para magnetizar o prego.
83. SAL: No meu trabalho tem um perfil de ímã que vai passando o tempo, *i.e.*, três anos, eles perdem as propriedades magnéticas (...)

PROF1 pega os seguintes materiais: um ímã, um prego e percevejos. Entrega os materiais para o aluno SAL.

84. PROF1: Verifique se o prego está magnetizado encostando-os nos percevejos.

SAL - (Executa)

85. SAL: Não está magnetizado!

86. PROF1: Agora encoste o prego no ímã. Depois, vire o prego.

87. SAL: Você está me dizendo para fazer isto (...)

SAL - (Executa)

88. SAL: É mesma coisa!

SAL Coloca novamente o prego em contato com o ímã. Inverte o prego vai aproximando e diz:

89. SAL: Vamos ver se ele repele (...).

90. NEL: O SAL está forçando (...).

91. SAL: Não estou forçando!

O prego continua sendo atraído

92. SAL: Vou utilizar outro prego. Vou magnetizar deste lado (ponta).

93. PROF1: Por quê?

94. SAL: Porque deste outro lado (cabeça) tem mais material (...).

O prego continua sendo atraído

Os dados apresentados acima, foram retirados da (*transcrição 1*) e mostram que o aluno SAL acredita que o prego será repelido (passagem 80). Ele acredita que deve haver um “tempo” e “intensidade” necessários para magnetizá-lo, ou seja, ele não considera uma ação instantânea (passagem 82). Portanto, ele admite que se o prego ficar durante algum tempo em contato com o ímã, a magnetização atingirá gradativamente uma “intensidade” que fará com que o prego ao ser invertido apresente uma força de repulsão capaz de fazê-lo girar e ser atraído pela extremidade que anteriormente estava em contato com o ímã⁷⁴.

Peregrinus sabia que uma barra de ferro ao ser posta em contato com uma magnetita, se torna um ímã temporário. Se a barra for invertida ela continuará sendo atraída pelo ímã, isto acontece, segundo ele, “porque ‘a virtude no ferro é facilmente alterada’, de maneira que, o que era antes a extremidade *sul*, se tornará agora o *norte* e *vice-versa*” (Peregrinus, 1269, p. 13).

O professor fez com que o aluno SAL executasse o experimento. Ao encostar o prego no ímã, o aluno verifica que o prego se torna um ímã temporário, uma vez que ele passa a atrair materiais ferromagnéticos. No entanto, ao invertê-lo, ele continuará sendo atraído, uma vez que *o prego perde rapidamente as propriedades magnéticas adquiridas*. O experimento contribui para refutar a hipótese, segundo a qual o aluno *equivocadamente* concebe que o prego adquire a propriedade de repulsão.

⁷⁴ Quando manuseamos dois ímãs tentando colocar os pólos idênticos em contato, a sensação que temos é esta: há uma força de repulsão e, um dos ímãs tende a girar para que os pólos diferentes se unam.

- *Pólo norte de um ímã possui maior poder de atração que o pólo sul?*

Gilbert em um trecho do seu livro “*De Magnete*” parece sugerir que o pólo *norte* de um ímã atrai um determinado material de maneira mais intensa que seu pólo *sul*.

“Os pólos magnéticos podem ser encontrados em diversas magnetitas, [sendo] fortes e poderosos (*macho*), como o termo usado na antiguidade, ou ainda, fracos (*fêmea*) [...] o pólo de uma pedra tem maior poder de atração que parte da outra pedra que responde a ela (a adversária como é chamada), e.g., o pólo norte de uma, tem maior força de atração, tem maior vigor ao puxar a parte sul da outra; então, ela atrai ferro mais poderosamente e gruda a ele mais firmemente” (GILBERT, 1600, p. 23).

Gilbert chama o pólo norte de *macho* ou *ativo*, e o pólo sul, de *fêmea* ou *passivo*. Embora ele esteja comparando duas pedras distintas, por que motivo ele considera que o pólo *norte* de uma, tem maior poder de atração ao puxar a parte *sul* da outra [pedra]? Será que o pólo *norte* de uma única pedra atrai um determinado objeto de maneira *mais intensa* que seu pólo *sul*? Estas questões permearam as discussões da (transcrição 2).

40. PROF1: Ele descreve algumas características da pedra: a forma, o aspecto, mas tem uma coisa interessante que diz: Eles podem ser *fortes e poderosos* ou *fracos* (*fêmea*) (...).
41. SAL: Ele relaciona isto ao [pólo] *norte* e *sul*, e a *atração* e *repulsão* (...)
42. PROF1: Ele considera *norte* e *sul* para mesma pedra?
43. SAL: Eu acho que não!
44. SAL: Pode ser a “intensidade” de um ímã. Por exemplo, nem um ímã tem a mesma “concentração” que o outro (...).
45. CAR: Ele fala assim: *O ímã tem dois pólos de origem natural um norte e um sul.*
SAL – “*Os pólos magnéticos podem ser encontrados em diversas magnetitas (...)*”
46. SAL: Cada ímã tem dois pólos. Só que estes pólos podem ser fracos ou fortes. Depende da pedra. Pelo que eu entendi, se eu tenho duas pedras, uma consegue sustentar 30g e a outra não consegue.
47. PROF1: Mas, não seriam o pólo *norte* e *sul* da mesma pedra?
48. SID: Até agora não é isto que ele “diz”.
49. NEL: Mas como ele define que o pólo *norte* é mais forte?
50. PROF1: É. Como ele define (...)?
51. NEL: É, porque se compararmos duas pedras, porque o pólo *sul* da maior não seria mais forte que o *norte* da menor?
- PAUSA
52. SID: Será que não é porque ele diz aqui em cima: O pólo *norte* é origem e o pólo *sul* é destino?

Inicialmente, os alunos ao serem questionados a respeito da possibilidade de um ímã possuir um pólo mais intenso que outro, eles admitiram pelas (passagens 43, 44, 46 e 48) se tratar de duas pedras distintas. Porém o aluno NEL questiona (passagens 49 e 51) por que Gilbert se refere ao pólo *norte*? Em outro trecho, o aluno tenta justificar, narrando um episódio:

96. NEL: Eu acho que não tinha como medir, mensurar. Então, ele observa que quando atrai, puxa mais rápido do que quando estava repelindo. Então, para ele “puxar” tinha mais força que “empurrar”. Não sei (...), porque às vezes (...), antigamente (...), quando a gente era criança e ficava brincando, tinham duas pedrinhas (dois ímãs) e ficávamos brincando vendo quando uma pedrinha começava a puxar a outra. E via (...), puxa lá de longe (...), já atraía (...), já mexia (...), tinha uma força grande, né. E pra empurrar tinha que chegar mais perto. Talvez, ele considerava isto “o puxar” e “o empurrar”.
97. CAR: É. Quando você está empurrando, você está empurrando com a parte mais fraca. Por isto que [para ele] puxar possuía uma força mais forte.
98. PROF1: Vocês têm a impressão que o puxar é mais intenso que o empurrar, mas puxar envolve pólos diferentes e empurrar, pólos iguais. Diferentes atraem e iguais repelem.

O aluno NEL narra sua experiência ao manusear ímãs quando criança (passagem 96), dizendo que a sensação que ele tinha é de que a atração é mais intensa que a repulsão. O estudante CAR concorda com o que foi dito. O professor pede aos alunos para refletirem melhor, uma vez que, quando dois ímãs se *atraem*, um dos pólos é o norte e o outro é o sul, sendo que, a interação ocorre entre um pólo forte e um pólo fraco, ou seja, entre pólos diferentes. Quando há *repulsão* existem duas possibilidades: os pólos envolvidos na interação são *norte e norte*, ou, ambos são pólos *sul e sul*. No primeiro caso, a força seria mais intensa, pois os dois pólos são fortes; no segundo caso, a interação seria menos intensa, visto que, o pólo sul é considerado fraco.

Ao utilizarmos um dinamômetro⁷⁵ para desprender um objeto metálico [uma porca (de parafuso)] de um ímã, na maioria das vezes, um dos lados apresentou um valor de força maior que o outro lado (*apêndice L – fig. 4*).

102. PROF1 - Pega o material para verificar a força relativa a cada pólo: *dinamômetro, porca e ímã*.
103. PROF1: O dinamômetro tem uma parte fixa e uma parte móvel. Ele está zerado! Segura aí e vai puxando (...) puxando (...)

⁷⁵ Fizemos um experimento para verificar se um dos lados do ímã possui maior poder de atração que o outro. Para isto, utilizamos um objeto ferromagnético preso a um dos pólos de um ímã homogêneo apenas pela força de atração. Por meio de um dinamômetro (aparelho que mede a intensidade da força) puxamos o objeto até que ele se desprendesse do ímã e anotamos a intensidade da força, isso foi feito várias vezes para verificar se haveria regularidade nos resultados.

104. CAR: Ah! Até ela escapar (...)
105. PROF1: Exatamente!
106. NEL: Depois tem que inverter.
[Os alunos vão puxando até se soltar]
107. NET: 130 gf
108. PROF1: Inverte agora (...).
[Os alunos vão puxando]
109. SAL: 70 gf.
110. NEL: Eu não acredito!
111. NET: Quanto mais você segura, mais tempo o ímã fica em contato com o ferro, ou seja, “magnetiza mais” (...)
112. MAR: Mas aí as linhas de campo teriam que ser mais concentrada no *norte* do que no pólo *sul*, e não são!
113. PROF1: Temos que considerar que a pedra pode não ser uniforme (...).
[Os alunos tentam com um novo ímã. Em um dos lados a força excede a 200 gf e no outro apenas 120 gf.]

Os alunos observaram que um dos lados do ímã apresentou um valor de força diferente em relação ao outro (passagens 107 e 109). A finalidade desta atividade foi fomentar as discussões e mostrar que a *percepção* não é a fonte segura da verdade. Muitos fatores estão envolvidos no experimento. O aluno MAR tenta justificar:

117. MAR: Temos também que considerar o processo de fabricação destes ímãs que inclui propriedades *térmicas* e *magnéticas*.

Observe que o aluno tenta justificar contrariando aquilo que foi observado. Segundo ele, apesar da barra ser aparentemente homogênea, ela pode ter, por exemplo, uma maior concentração de óxido manganês (ou outro minério) em um dos lados, ou ainda, ao fazer o corte na barra o material pode ter se aquecido, mudando sensivelmente suas propriedades.

- *A divisão de um ímã e a idéia de uma partícula infinitesimal com propriedades magnéticas*

Peregrinus e Gilbert já sabiam que ao se quebrar uma barra de ímã, cada fragmento continua apresentando características magnéticas, constituindo-se em *dois* novos ímãs. O estudante AND interroga a respeito da divisibilidade do ímã:

104. AND: Você mantém as propriedades de pólo *norte* e *sul* enquanto tiver uma “distância” entre os pólos?
105. PROF2: Se você pegar uma espira, ela tem seu pólo norte e sul. Se você pegar nas últimas conseqüências (...) o elétron girando ele vai ter o pólo *norte* e o pólo *sul*. Este é

que é o problema (...)! Você só tem esta idéia ao supor a *estrutura da matéria* e ele não tinha esta idéia. A matéria para ele é constituída por “pontinhos”. Isto que você falou, para ele não faz sentido. No entanto, ele vai dividindo (...) dividindo (...) até continuar tendo às propriedades de pólo *norte e sul*.

Se nós quebramos um ímã ao meio, teremos dois novos fragmentos que continuarão tendo propriedades magnéticas. Por menor que seja o fragmento de um ímã, ele continuará apresentando polaridades. Este processo empírico é *limitado*, e por isso está enquadrado nesta categoria, porém, teoricamente o processo prossegue até em *nível atômico* (passagem 105).

Procuramos mostrar que o conhecimento do objeto por meio do *empirismo* - da observação, da manipulação e da experimentação – é um conhecimento *incerto e provisório*. A experimentação tem algumas “armadilhas”, que quando não percebidas podem levar a conclusões “equivocadas”, tal como pudemos mostrar por meio dos trechos anteriores. O professor deve estar atento às explicações dos alunos para determinados fatos experimentais, pois eles podem estar equivocados por influência do próprio experimento. Neste momento, o professor precisa intervir para tentar conduzir o aluno para uma interpretação mais *racional*. O dado já não é mais *concreto e absoluto*, é necessário pensar além. Insistamos, agora, sobre o aspecto *racional* do conhecimento científico.

4.2.3 Racionalismo simples

- *A matéria não é inerte.*

No encontro em que discutimos o texto referente às idéias de Ampère (*transcrição* 6), o professor utiliza o artifício de fazer algumas questões abertas visando estabelecer um diálogo com o aluno. O que é tensão? O que é corrente? Uma existe independente da outra?

2. PROF: Só para iniciar, eu tenho duas questões a fazer: o que é corrente? E o que é tensão?
3. ALI: Corrente é o “fluído elétrico”.
4. NEL: É a carga por unidade de tempo.
5. AND: É o *movimento* de cargas.
6. NEL: E o que seria *cargas*? É o movimento de *elétrons* (...).
9. PROF: Existe tensão sem corrente?
10. ALI: Sim.
24. PROF: Existe tensão sem corrente?
25. THI: Existe!
26. PROF: Existe corrente sem tensão?

27. THI: Não!

87. PROF: Ele [Ampère] supõe que existem “correntes” que compõe o ímã. O ímã está ligado a alguma fonte de energia?

88. TODOS: Não!

89. PROF: Se a gente discutiu no início que não existe corrente sem tensão (...).

90. ALI: Teria que existir! Não pode partir do “nada”. Teria que “brotar” de algum lugar esta *energia* (...).

91. NEL: Não seriam correntes induzidas?

92. PROF: Induzidas a partir de onde?

93. NEL: Não sei (...).

Nas (passagens 3 a 6) os alunos definem *corrente*. Os alunos *admitem* que existe tensão sem corrente (passagem 10 e 25), principalmente por que eles sabem que as tomadas residenciais possuem estas características, ou seja, só vai existir corrente elétrica a partir da tensão elétrica presente nas tomadas. No entanto, *não admitem* que haja corrente sem tensão (passagem 27). Ora, se Ampère considera que um ímã é composto por correntes elétricas, de onde viria esta *energia*? Na (passagem 90) o estudante ALI concorda que ela deveria vir de alguma “fonte de energia”.

Quando se estuda a estrutura interna do ímã, pode-se dizer que *o repouso absoluto não tem significado*. A noção simples dá lugar a uma noção complexa, pois “toda a hierarquia que vemos estabelecer-se nas noções, é obra do esforço de *reorganização teórica* levado a cabo pelo pensamento científico” (BACHELARD, 1991, p. 31).

Na concepção de Ampère, o interior de um ímã era composto por espiras de correntes, ou seja, *correntes microscópicas moleculares*. Os pólos norte e sul eram determinados pelo sentido de giro destas correntes.

- *Inexistência de monopólo magnético*

Neste trecho extraído da (*transcrição 1*), o aluno SAL utiliza duas canetas para fazer analogia com ímãs. Ele as coloca, lado a lado para verificar a *atração* ou *repulsão* entre elas (os supostos *ímãs*). Para que isto ocorra, as extremidades dos ímãs, quando alinhados, têm que ser *opostas* ou *idênticas*, respectivamente. Uma caneta contém nas suas extremidades duas tampas: uma *azul* e outra *preta*. A outra caneta possui apenas uma tampa *preta*⁷⁶.

⁷⁶ Supondo que ambas as canetas possuísem tampas azul e preta, para que houvesse atração a tampa azul de uma deve estar alinhada com a tampa preta da outra. A palavra “alinhar” para o aluno SAL vai significar, durante a transcrição, o ato de colocar uma barra de ímã ao lado de outra barra (ou *duas canetas* lado a lado) a fim de que haja a interação entre as extremidades.

40. PROF1: No capítulo 5, ele coloca a seguinte questão: *Como distinguir e dizer qual é o pólo norte e sul?*

SAL - *pega uma caneta com duas tampas: uma azul e outra preta e diz:*

48. SAL: Por exemplo, eu tenho uma ponta que é azul, a outra que é preta. Um pólo *norte* e outro *sul*.

49. PROF1: Você identificou (...)

50. SAL: Sim! Eu identifiquei! Quer dizer, eu estabeleci uma referência. Eu tomei uma referência (...)

SAL – *Pega outra caneta com uma tampa preta e diz:*

51. SAL: Esta ponta aqui é azul e, esta é preta [primeira caneta]. Esta aqui é só preta [segunda caneta] (...)

52. SAL: Você sabe (...), mas não sabe as propriedades (...)

53. SAL: Só que vai ter *um problema*: Se alinhar os pólos opostos, eles vão se atrair (...). Então, precisa ser ao contrário.

Note que há um problema, pois ele definiu uma das canetas como um monopólo (tampa só preta), isto não pode existir. Então, ele coloca duas canetas lado a lado e explica:

54. SAL: Por exemplo, vamos dizer que temos dois eixos, para *alinhar*, para *grudar* tem que existir propriedade de *atração* no caso (...)

55. SAL: Se este pólo for *norte* e aqui *sul*, então aqui teria que ser *sul* e aqui *norte*.

56. SAL: Senão, ela [caneta/barra de ímã] vai “puf” girar.

SAL *demonstra o que aconteceria com as canetas, colocando-as lado a lado.*

Ao fazer uma analogia entre uma caneta e um ímã o aluno SAL sente a necessidade de identificar a caneta (passagens 48 e 50). Para isto, ele coloca na extremidade de uma caneta tampas de cores diferentes (azul e preta). No entanto, ele se esquece de identificar a outra caneta. Na (passagem 53) ele demonstra claramente ter olhado para as duas tampas pretas (uma tampa de cada caneta), pois para que haja atração, ele diz que precisa inverter uma das canetas. Ai ele percebe que a caneta (com uma tampa - preta) não seria um ímã, porque *não existe um ímã contendo apenas um pólo* (monopólo magnético). Note que aqui, o aluno já possuía uma *definição teórica* que o possibilitou trazer a tona suas idéias por meio da *manipulação* com o objeto concreto, ou seja, por meio da analogia entre as canetas e os ímãs.

- *Existência de linhas de força*

Faraday imaginou, no entorno do ímã e no seu próprio interior, a existência de *linhas físicas de força* que são responsáveis, segundo ele, por sua “ação” sobre outros corpos. Estas linhas são imaginárias e, podem ser “visualizadas” espalhando ao redor do ímã, limalhas de ferro. Ao estudarmos os encontros referentes à (*transcrição 1*) e (*transcrição 2*)

respectivamente, os alunos SAL e CAR demonstraram pela suas “falas” que conhecem a existência das linhas de força, propostas por Faraday.

58. CAR: Ele [Peregrinus] sabia qual era o pólo *norte* e qual o pólo *sul*?
59. PROF1: Ele sabia que existiam *regiões com maior concentração de forças* e que estas regiões eram *diferentes* entre si.
60. CAR: Ah! Ele já tinha noção da concentração de linhas *axiais* num ímã.
61. PROF1: De “linhas” não.
62. SAL: Mas, ele sabia que havia regiões com maior concentração força, ou seja, eixo norte e sul.
63. PROF1: Para ele a atração se dava por um *instinto natural*.
31. PROF1: Ele fala aqui que um é *origem*, e o outro *destino*. Porém não devemos esquecer que as linhas de campo formam *trajetórias fechadas*.
32. SAL: No *interior* do ímã. Justamente, onde existe a maior concentração de linhas de força.
33. PROF1: Se você pegar um solenóide, ele se comporta de maneira semelhante. No *interior* você terá uma *grande concentração de linhas* e o *campo magnético é mais intenso no seu interior*.

Nos trechos mostrados acima, as regiões que possuem maiores concentrações de forças são os *pólos*. As (passagens 60, 62 e 32) mostram que, a região axial (eixo) do ímã possui linhas de forças mais concentradas do que no espaço ao redor do ímã. O professor revela que estas linhas são *fechadas* e podem ser encontradas inclusive no *interior* de solenóides (passagem 31 e 33).

A *abstração* da idéia de linhas campo magnético é uma *racionalização da experiência*. Ao imaginarmos o campo como um vetor é possível de antemão prever a ação deste campo sobre outros corpos. Neste sentido, a razão pode ser *aplicada ao real*.

Pretendeu-se nestes últimos tópicos explicitar que o estudo do objeto neste nível de conhecimento (*racionalismo*), não se baseia em nossas experiências cotidianas. É necessário um alto grau de abstração para descrever o objeto em seus detalhes ou construir modelos que teoricamente os descrevam, uma vez que, cientistas criam modelos para entender e explicar os macros e micros fenômenos do mundo em que vivemos. Neste sentido, o ensino de Física trabalha com noções cada vez mais abstratas, cada vez mais distantes do real, cada vez mais próximas da “*coisa em si*”.

4.2.4 O processo dialético-sintético: o experimento de Ørsted como exemplo.

Nesta subseção pretendemos mostrar como o processo dialético de análise e síntese é importante para o desenvolvimento científico e para o processo de aprendizagem de conceitos de uma maneira geral. Os dados referentes à (*transcrição 5*) apresenta um encontro em que foi estudado uma tradução do trabalho de Ørsted (ØRSTED, 1986), em que ele descreve sua descoberta.

PROF “desde que seja possível incandescer um fio metálico”. Por que ele diz isto?

34. SAL: Não sei (...). Só sei que o ferro perde suas (...). Que metal que ele utilizava?

35. PROF: Os metais de maneira geral; acho que ele utilizava o latão.

36. SAL: Se for ferroso, acima de 700 °C, ele perde suas propriedades.

37. PROF: Mas, ele está falando do fio condutor.

38. SAL: Sim!

39. PROF: Ele diz que pra produzir o efeito é necessário tornar incandescente o fio metálico.

40. SAL: Mas agora é o seguinte: a agulha é imantada?

41. PROF: Sim (...)

42. SAL: Se o fio for ferroso, com corrente, “vai dar pau”. Se o fio for ferroso e ele se torna incandescente. O ferro perde suas propriedades em torno dos 600 a 700 °C e *deixa de ser magnético*.

Sabemos que os materiais magnéticos perdem suas propriedades com a temperatura. Ao passar uma corrente intensa pelo fio metálico ele se torna incandescente (aquecendo e emitindo luz visível). O estudante SAL demonstrou por meio da (passagem 42) acreditar que o fio *deixa de ser magnético*. Portanto, ele parece interpretar a interação entre dipolos magnéticos, como algo semelhante a concepção que os cientistas Biot e Savart tiveram ao interpretar este fenômeno.

43. ALI: Eu acho que *incandescente* explica “a eletricidade que está passando pelo fio”. Quanto maior a corrente, maior é a dissipação de calor. Quando o fio se torna incandescente é “visível” que a corrente que passa pelo fio é intensa.

44. SID: Mas ele está associando o magnetismo com o efeito elétrico. E você não precisa “disso” (do fio incandescente). Não precisa de um efeito “observável”. Se estiver passando uma corrente elétrica pelo fio, mesmo sem o fio se tornar incandescente, você terá o efeito.

45. PROF: Ele acreditava que o fio deveria se tornar incandescente, pois para ele, havia relação entre *calor, luz, eletricidade e magnetismo*. Ele não sabia que se ele utilizasse fios com diâmetros maiores, embora o fio não se tornasse incandescente, o efeito seria o mesmo.

Na continuação, ALI considera que Ørsted necessitaria “ver” o fenômeno acontecendo (passagem 43) para interpretá-lo. Em seguida o aluno SID *retifica* este pensamento dizendo que *não é necessário observar o fenômeno* acontecendo (passagem 44). Um fio de diâmetro maior produz um melhor resultado!

46. PROF: O que ele quis dizer com *conflito elétrico*?
47. SAL: A indução ao redor do fio.
48. PROF: A indução?
49. SAL: O *campo gerado* ao redor do fio. Assim funciona o transformador, não é?
50. SAL: Você “injeta” uma corrente no fio e, perpendicularmente você tem um campo magnético, não é? PAUSA. E que tem a propriedade de induzir uma tensão ou corrente em outro condutor. Ele não tinha este conceito, mas ele observou que você “injetando”, ou seja, fazendo circular uma corrente pelo fio você tem um “conflito elétrico”. Que na verdade é o que nós chamamos hoje em dia de *campo magnético*.
51. MAR: Eu acho que ele tinha a idéia de que se você passasse uma corrente pelo fio, você teria um *tipo de atração*. Quando ele colocou a agulha próxima ao fio, ele verificou uma “rotação” diferente, ou seja, outro tipo de atração, e aí, ele chamou de conflito elétrico. Uma atração contrária. Acho que foi isto que ele quis dizer (...)
52. PROF: Ele tinha a concepção de que havia dois fluxos de eletricidades em sentidos contrários. Estes fluxos entravam em conflito e havia uma “luta” entre os dois tipos de eletricidades (*positiva e negativa*) e, por isto, o fio se tornava incandescente.
53. SAL: Ele não tinha a concepção de que *o campo girava ao redor do fio*?
54. PROF: A concepção dele é *diferente da que nós temos hoje em dia*. Para ele havia *dois turbilhões*. Um girando no sentido horário, que empurrava um dos pólos para oeste e, o outro, no sentido anti-horário que empurrava o outro pólo para leste.

Para o estudante SAL, a palavra “conflito elétrico” sugere a idéia que temos de um *campo magnético ao redor do fio* (passagem 47 e 49). MAR (passagem 51) diz que a interpretação de Ørsted na época estava relacionada à “atração” ou a “ação contrária”, que implicitamente sugere a idéia de uma “interação magnética” por meio de uma “ação a distância”, explicadas pelo professor nas (passagens 52 e 54). Esta concepção também se assemelha a interpretação dos cientistas Biot e Savart.

PROF Coloca a agulha da bússola no mesmo plano do fio e pergunta:

55. PROF: O que acontece?
56. SAL: Está no mesmo plano?
57. PROF: Sim, está.
58. SAL: Está escrito aqui que a agulha não sofre nenhum desvio. Ela vai ficar na mesma posição. Ela se manterá no mesmo eixo de orientação do fio.
59. PROF: Observem o que acontece (...)
60. SAL: Nada!
61. PROF: Você tem certeza? Acontece “algo”. O que está acontecendo?
- Os alunos observam. PAUSA.*
62. PROF: O que acontece?
- SAL: Ela mexe um pouquinho (...)
63. PROF: Por quê?
64. MAR: Ela está se movendo assim: na vertical e não na horizontal.
65. MAR Pega um giz e o movimenta na vertical.
- SAL aproxima os olhos da agulha magnética e diz:*
66. SAL: De fato o MAR tem razão.

67. PROF: O que acontece é que aquela ponta verde sobe e, a outra ponta desce.
68. PROF: É, e como ela está no mesmo plano, ela não consegue girar e sofrer uma *deflexão horizontal* (giro).

Mesmo observando um fenômeno não conseguimos entender o que realmente acontece. O professor colocou “propositalmente” a agulha magnética no mesmo plano do fio condutor. Embora a agulha não gire isto não significa que ela não sofra a influência da corrente elétrica. O aluno SAL embora consciente disso (passagem 58) não nota que ela sofre influência (passagem 60). O professor explica que a bússola se move no seu eixo vertical e não no eixo horizontal, o que provocaria o giro da agulha da bússola (passagem 67 e 68).

O PROF pega uma agulha não magnética (de latão) e pergunta:

102. PROF: O que vai acontecer?
103. SAL: Ela vai girar (...). Mas espera aí: não dá pra saber qual é o *norte* e qual é o *sul* da “latinha”
104. SAL: Então, não vai acontecer nada!
O PROF faz o experimento com a agulha de latão e mostra que ela não sofre nenhuma influência da corrente elétrica.
105. MAR: Ela não se mexe pelo “peso” da agulha.
106. PROF: Você está dizendo que ela não se move pelo tamanho da agulha?
107. MAR: Sim, porque se fosse uma agulha “menorzinha” ela se moveria.
108. NEL: Não é isto! É porque ela *não é magnética*!
109. PROF: Os efeitos eletrostáticos atuam em uma variedade de materiais. Já o efeito magnético apenas atua em corpos magnetizáveis.

No trecho apresentado acima os alunos estão diante do experimento. O professor utiliza um grampo aberto (semelhante aqueles que prendem os papéis em pastas), que apesar de ser um objeto metálico, ele *não possui propriedades magnéticas*. Inicialmente o estudante SAL diz que ela vai “girar”. Em seguida, ele *retifica* seu pensamento e reconhece que o material não é magnético (passagem 103). Na frase seguinte ele afirma que a agulha (que não é magnética) não sofre influência (passagem 104). O aluno MAR parece ignorar o que foi dito, pois para ele a agulha é grande e possui uma quantidade de “massa” grande (trecho 105 e 107). Finalmente, o professor apresenta a conclusão que Ørsted chegou ao perceber que *o conflito elétrico atua sobre corpos magnetizáveis*.

O PROF lê que o conflito não está confinado apenas no fio condutor, mas está disperso ao seu redor

110. PROF: O que acontece com o calor? Ele se irradia do material.
111. SAL: Não é difícil se enganar com esta concepção.
112. PROF: Ainda mais que, era difícil aceitar a concepção de um “campo magnético” *circulando ao redor do fio* (...)

158. SAL: Realmente, deve ter sido difícil aceitar a idéia de um campo “girante”.

Assim como luz e calor, Ørsted acreditava que o efeito pudesse se *irradiar* do material (passagem 110). O estudante SAL reconhece que para uma pessoa que não possua a concepção de que existe um campo magnético circulando ao redor do fio, é difícil aceitar que o efeito podia irradiar do fio condutor.

Esta subseção advoga sobre o processo de *análise e síntese*. Um *processo dialético* em que a *razão* e a *experiência* trocam informações. Quando o experimento não é capaz de explicar o fenômeno, recorre-se a razão. Inversamente, quando a razão tem uma “opinião” formada, é necessário verificá-la. A nova experiência vai questionar novamente o pensamento, que por sua vez, vai levantar novas dúvidas a serem investigadas. Assim este processo ocorre *indefinidamente*. Neste processo, está presente a relação *dialética erro-verdade*. Na busca indefinida pela verdade, à medida que aparecem os erros, eles vão sendo retificados pelo pensamento, fazendo com que o conhecimento evolua e se aproxime mais da verdade. Novos erros surgem e o conhecimento “dá mais um passo” em direção a verdade (...). A evolução do pensamento possui esta característica, em que o *erro retificado* “dá lugar” a uma *verdade provisória*.

4.2.5 Síntese e interpretação dos dados

O *Quadro 10* sintetiza as concepções dos alunos que foram estudadas durante esta etapa da pesquisa e, compara com uma síntese das principais idéias históricas na formação dos conceitos. O quadro em questão, mostra que é possível enquadrar estas concepções dentro das diferentes zonas do perfil e verificar certas semelhanças e paralelismos entre o perfil *epistemológico* e *ontológico* segundo a concepção de alguns autores. Sendo assim, *a História da Ciência serviu de base para orientar as atividades de ensino*.

A primeira zona do perfil (*realismo ingênuo*) evidencia a atribuição de características místicas aos materiais magnéticos e a presença de alguns obstáculos em relação à eletricidade, que geralmente são atribuídas à falta de mobilização do pensamento. Por meio dos dados coletados, pôde-se verificar que os alunos de nível universitário, que constituem os sujeitos desta pesquisa, não apresentam esta zona do perfil acentuada. Ao se referirem as concepções de senso comum, eles sempre se referem à outras pessoas (pessoas mais antigas, avós, etc.). Estes alunos conseguem perfeitamente distinguir estas *concepções de senso comum* do

conhecimento científico. Em relação à eletricidade, encontramos alguns obstáculos que realmente pode dificultar a aprendizagem. Acreditamos que a idéia dos estudantes de que *a eletricidade está relacionada com a luz e o calor*, difere do *pensamento pré-científico*. No primeiro caso, eles consideram que estes fenômenos podem estar relacionados à presença do “elétron”. Outro aspecto importante diz respeito à analogia. No nível de conhecimento elementar, ela pode ser válida. No entanto, Bachelard considera que num nível mais avançado, ela é prejudicial e representa um *obstáculo ao conhecimento científico*. Quer na formação do conceito, quer no processo de aprendizagem, a explicação científica para os fenômenos é extremamente difícil. É superando estes obstáculos que há a evolução do pensamento para nível mais elevado. A nosso ver, os dados sugerem que os obstáculos encontrados no caso do magnetismo se referem ao *conhecimento geral*, visto que, o indivíduo generaliza o fenômeno observado, com aquilo que ele julga conhecer. O principal obstáculo relativo à eletricidade é o *substancialista*, pois podemos observar seus *efeitos*, e não a sua *causa*.

A segunda zona do perfil, o *empirismo*, está relacionada à *experiência primeira*. O ímã é um objeto simples, que produz efeitos admiráveis. Por meio da manipulação deste objeto podemos conhecê-lo um pouco melhor. Por exemplo, podemos verificar que ele é capaz de tornar um pedaço de ferro em um ímã temporário. O principal obstáculo verificado nessa zona do perfil diz respeito à *crença* de que os pólos possuem intensidades de atração e repulsão diferentes. O experimento pode denotar uma “certa autoridade” para os alunos, não sendo possível refutá-lo por meio do *raciocínio* lógico, tal como foi evidenciado pelos dados. Um aluno com esta concepção poderá apresentar dificuldades, na medida em que estiver suscetível a aceitar conhecimentos provindos do experimento, sem questioná-los e, sem verificar se o resultado experimental é coerente do ponto de vista teórico ou lógico. O *objeto percebido* e o *objeto pensado* pertencem a duas instâncias filosóficas diferentes: a *experiência* e a *razão*. Neste sentido, é preciso manter um contato cada vez mais estreito com o real, porém, não esquecer que a descrição é a finalidade da ciência, pois a evolução de um conhecimento particular caminha em direção a uma coerência racional (BACHELARD, 2004).

Acreditamos que a terceira zona do perfil epistemológico o *racionalismo* está intrinsecamente relacionado com o obstáculo *substancialista*. A idéia de linhas de forças, a concepção de “correntes” no interior dos ímãs, a presença de partículas atômicas e subatômicas, etc., caracterizam-se por conceitos *abstratos*. Visto que, é impossível adentrar

no interior da matéria para conhecer a “*coisa em si*”, atribuímos a esta zona do perfil a presença do obstáculo *substancialista*, uma vez que, o aluno tenta imaginar o que ocorre em seu interior. O obstáculo *substancialista* “dá lugar” ao conceito de *estruturalismo*. Por meio dos dados coletados nos deparamos muitas vezes com a palavra “entes”⁷⁷, para se referir as *partículas existentes no interior do ímã ou do fio condutor*. Sendo assim, o modelo explicativo proposto pelo aluno pode não condizer com modelo teórico socialmente acreditado. Surge a questão: caberia ao aluno aceitar o modelo proposto pelos cientistas? Sabemos que há um consenso entre teorias já instituídas, mas cabe ao aluno questionar estas teorias e questionar a sua própria maneira de pensar. O curso proposto teve por objetivo propor esta linha de raciocínio.

As informações veiculadas pelo *Quadro 10* buscam evidenciar algumas características dos alunos relativas aos perfis, que foram identificadas durante a pesquisa. Se considerarmos que a primeira zona é praticamente inexistente entre os alunos, podemos considerar que eles estariam enquadrados praticamente em apenas *duas* zonas do perfil: o *empirismo* e o *racionalismo*. Podemos ainda, imaginar que estes dois perfis representam o período anterior e posterior à descoberta do eletromagnetismo, sendo que, esta descoberta representou uma ruptura entre dois níveis de pensamento: a idéia de *ação a distância* e a concepção da *teoria de campo*.

No processo de *dialética* e *síntese*, em que analisamos os trechos relevantes relacionados ao experimento de Ørsted, acreditamos que esta descoberta se encontra mais ou menos no ponto intermediário entre dois níveis de pensamento. Logicamente, não devemos ser radicais nesta divisão, pois mesmo após a descoberta, permanecem resquícios do primeiro perfil (*concepção da ação à distância*). Percebemos uma estrita relação entre Ciência e Ensino. As dificuldades e obstáculos defrontados para se estabelecer o eletromagnetismo, foram verificados também no pensamento dos estudantes. Um dos alunos disse que quando o fio condutor fica rubro, se ele for ferroso, perderia suas propriedades magnéticas e não seria “atraído” pela agulha magnética da bússola. Esta é uma das interpretações teóricas para o fenômeno (as interpretações de Biot e Savart). Houve um embate entre as idéias de dois estudantes, o primeiro considerando que, o fio ao se tornar incandescente o fenômeno seria mais “visível” e, o outro, alegando ser desnecessário este efeito.

⁷⁷ Segundo o dicionário *ente* significa coisa; ser; substância; objeto; aquilo que existe ou supomos existir. (*fonte: Dicionário Aurélio*).

Quadro 10 – Perfis epistemológicos relacionados ao eletromagnetismo (síntese)

<i>Zonas do perfil</i>	<i>Perfil: História da Ciência</i>	<i>Perfil: Alunos</i>
1ª Zona: Realismo ingênuo⁷⁸	<i>Bartholomews</i> • A magnetita é uma pedra preciosa • Ela cura enfermidades • Possui poder de prejudicar pessoas <i>Franklin</i> • Luz e calor relacionados com a eletricidade • Teoria do fluido único (esponja) • Dificuldade de explicar a teoria	• Garrafa d'água diminui o consumo de energia elétrica • CD pirata estraga o aparelho • Colchões magnéticos previnem doenças • Luz e calor relacionados com a eletricidade • Analogia com um copo d'água • Dificuldade de explicar a teoria
2ª Zona: Empirismo	<i>Peregrinus</i> • Para identificar os pólos devemos colocar o ímã em uma vasilha • O ferro friccionado a um magneto se transforma em um ímã temporário e perde rapidamente suas propriedades <i>Gilbert</i> • O pólo norte (macho) tem maior poder de atração do que o sul (fêmea) <i>Ambos</i> • Ao se quebramos uma magnetita teremos dois novos ímãs por menor que seja o fragmento	• Ao observar um ímã é impossível identificar os pólos. Podemos apenas manuseá-lo e verificar seu comportamento • Verifica-se que é impossível um material ferromagnético repelir um ímã • Experimentalmente a força que os pólos de um ímã atraem um objeto é diferente
3ª Zona: Racionalismo simples	<i>Ampère</i> • Existem correntes microscópicas no interior do ímã e é o sentido destas correntes é que determinam os pólos magnéticos <i>Faraday</i> • Um ímã não pode ser encontrado tendo apenas um pólo e estes poderes (pólos) são absolutamente iguais entre si • Estes pólos estão relacionados por meio de linhas de forças internas e externas ao ímã	• A matéria não é inerte. Ela possui “entes” que estão em constante movimento • Inexistência de monopólo magnético • Existência de linhas de força (<i>abstratas</i>) que podem ser “visualizadas” por meio de limalhas de ferro • Presença de partículas atômicas e subatômicas

Também no sentido de um embate, podemos considerar o processo de dialética e síntese. Apresentamos *três trechos* obtidos por meio das transcrições que ilustram o que acabamos de dizer: No primeiro caso, o fato de Ørsted possuir a concepção de “conflito elétrico” nas adjacências do fio, ou ainda, do aluno possuir a idéia de *campo ao redor do fio*, só faz sentido por meio de uma *verificação experimental*. Por outro lado, o fato da agulha magnética não se movimentar quando posta no mesmo plano do fio, ou ainda, paralelo a ele, deve ser explicado com *base na razão*. Ao colocar a bússola no mesmo plano do fio, o fio permaneceu praticamente estático, no entanto, uma predição teórica sugere que a agulha sofreu influência, mas porque ela se moveu apenas no plano vertical, o efeito não pode ser

⁷⁸ Os alunos deste curso não apresentaram esta zona do perfil. No entanto, eles reconheceram que esta categoria já esteve presente em suas concepções passadas e ainda se faz presente em algumas pessoas de seu convívio.

observado no plano horizontal (giro). No último trecho, nas proximidades do fio foi colocada uma agulha “não magnética” que permaneceu inerte à passagem da corrente elétrica pelo fio. Atribuir esta imobilidade da agulha ao seu *tamanho e massa* é um *erro*. O raciocínio permite avaliar que ela não se move, porque apesar de ser metálica, *ela não é magnética*. Resumindo, podemos dizer que quando o experimento evidencia os fenômenos é preciso explicá-los. Quando criamos modelos teóricos é preciso verificá-los. Isto caracteriza o *processo dialético* entre o *realismo* e o *racionalismo*. Analogamente, o aluno não aprende sem errar e, o erro não faz sentido sem uma “verdade” a ser alcançada. Ao mencionarmos os *erros históricos*, é possível relacioná-los com os *erros didáticos* ou *pedagógicos*.

4.3 Etapa da familiarização: a análise dos questionários no final de cada módulo

Após termos estudado os textos e discutido as principais idéias em sala de aula, chega o momento de fazermos uma *síntese* daquilo que foi visto. Assim, além de reservarmos um encontro para sintetizarmos o período estudado, elaboramos um questionário cuja finalidade é fazer com que o aluno reflita sobre alguns conceitos. O “primeiro questionário” contendo *quatro* questões, em aberto, foi respondido no final do primeiro semestre (*apêndice H1*). O “segundo questionário” contendo *três* perguntas foi respondido pelos estudantes no final do segundo semestre, quando então, finalizamos o curso (*apêndice H2*). Vamos então estabelecer como definição, que ao mencionarmos *módulo 1* estaremos nos referindo ao “primeiro semestre do curso” e, ao mencionarmos *módulo 2*, ao “segundo e último semestre”. O *apêndice H3* consiste em trechos extraídos dos textos históricos para auxiliar os alunos a responderem os questionários. A seguir, faremos uma análise geral destes instrumentos de coleta de dados.

4.3.1 Análise do questionário síntese - módulo 1

Este questionário foi elaborado baseado nas dificuldades observadas pelo professor para que os alunos entendessem algumas questões sobre o tópico estudado. Extraímos algumas citações dos textos e, a partir daí, elaboramos as questões. As perguntas apresentadas abaixo foram sintetizadas com a finalidade de torná-las mais clara ao leitor, no entanto seu conteúdo completo encontra-se no *apêndice II*. Também fizemos um quadro síntese para facilitar nossa análise, que pode ser consultado no (*apêndice JI*). Apresentamos também

algumas fotos dos experimentos realizados para ilustrar nosso trabalho (ver *apêndice L*). Vamos apresentar as questões de forma resumida e, em seguida analisar as respostas:

1. *Existe diferença entre a eletricidade produzida por atrito e a eletricidade produzida por uma pilha?*

Todos os alunos sem exceção analisaram a questão em termos do “comportamento cinético” das cargas (SER). Segundo os alunos, no primeiro caso, elas são cargas estáticas enquanto que no segundo, elas estão em movimento, apresentando um comportamento dinâmico ordenado. Assim, embora elas apresentem a mesma *causa*, seus *efeitos* são distintos (VIT, NET). Desta forma, no primeiro caso cria-se uma “d.d.p. eletrostática” - diferença de potencial entre os dois corpos - que faz com que ocorra a atração, o que não ocorre no segundo caso (THI, VIT). Segundo NET, elas possuem a mesma *essência* (elétrons). Então, segundo o aluno, se colocarmos os terminais da pilha em contato com os terminais de um capacitor, nós poderemos mostrar que elas são idênticas, uma vez que ocorrerá a produção de faíscas. O estudante ALI propõe a descarga de várias garrafas de Leiden “sincronizadas”, a fim de produzir uma eletricidade dinâmica.

Interessante notar que ninguém faz uma análise baseada na concepção de campo. Por exemplo, o pente atritado gera no seu entorno um *campo elétrico* que é responsável por atrair os pedacinhos de papel, ou ainda, o fio conduzindo corrente gera um *campo magnético* ao redor que só irá interagir com “materiais ferromagnéticos”, o que não é o caso dos papéis.

2. *Você considera que o pólo norte possui maior poder de atração que o pólo sul?*

Os estudantes ALI e THI concebem que isto somente é possível para ímãs diferentes. O aluno SID considera que sim, pois segundo ele, foi “comprovado experimentalmente”. Embora alguns alunos reconheçam que isto foi mostrado por meio do experimento (MAR, NET, SER), inclusive com maior concentração de limalhas em alguns pontos do ímã (NET), eles consideram que este fato é teoricamente impossível, uma vez que, a quantidade de linhas que saem de um ímã são as mesmas que chegam até ele (NET). Além disso, estes fenômenos estão relacionados ao alinhamento dos dipolos magnéticos do material (SER). Uma justificativa para o fato experimental pode ser atribuídas às imperfeições do material (MAR,

NET) e as condições térmicas no qual o material foi submetido durante o processo de fabricação (MAR).

3. *Porque é possível conduzir a eletricidade e não é possível conduzir o magnetismo?*

Segundo o aluno SID, a *eletricidade* se move porque existe uma diferença de potencial entre dois pontos. No caso do *magnetismo*, não é possível estabelecer uma “d.d.p. magnética” e, por isso, não é possível transportar o efeito magnético. Para ALI, isso só seria possível se houvesse um “monopólo magnético”. MAR e NET explicam que o magnetismo não existe por conta própria, ele é uma consequência do movimento das cargas, ou mais precisamente, do movimento orientado de cargas (VIT). Segundo SER, a *eletricidade caracteriza-se pelo deslocamento de cargas*, enquanto o magnetismo pelo *alinhamento dos momentos de dipolos magnéticos*. ALI considera que os pólos estariam “presos” uns aos outros, como se eles fossem, uma sequência de pequenos ímãs organizados em cadeia.

4. *Existe relação entre eletricidade e magnetismo?*

Todos foram unânimes que existe uma relação entre estas duas ciências. O aluno MAR sustenta sua resposta nos *fenômenos observados do cotidiano*. A maioria dos estudantes defende que por meio de um, é possível *gerar* o outro por meio do fenômeno da indução eletromagnética. Neste sentido, as cargas elétricas que constituem a matéria ao se moverem pelo fio condutor, produzem um campo magnético fechado e perpendicular ao fio (NET). THI afirma que *o movimento de “entes” de natureza elétrica* é responsável por criar o campo magnético ao redor do ímã.

4.3.2 *Apresentação das transcrições relativas à síntese do módulo 1*

A primeira questão foi elaborada por meio do estudo de um artigo. Neste artigo há a seguinte questão: Porque um pente atritado ao cabelo atrai pedacinhos de papel e, um fio ligado aos terminais de uma pilha, não atrai estes papeis? Por outro lado, porque uma pilha é capaz de acender uma lâmpada e, um pente atritado não consegue acender esta mesma lâmpada? Nos dois casos não se trata de eletricidade? (*apêndice L – figuras 5 e 6*) Fomos além. Colocamos um fio ligado a uma fonte de tensão, próximo a um gerador eletrostático.

Ao ligarmos o gerador, ele se carrega e atrai o fio, que se gruda a ele (*apêndice L – fig. 7*). Os alunos sugeriram que se ligasse a fonte fazendo passar uma corrente pelo fio, pois eles imaginaram que o fio iria se soltar do gerador. Vendo que o fio ainda permanecia grudado ao gerador, os estudantes sugeriram que invertêssemos a corrente, pois segundo eles, o fio se desprenderia do gerador. Mesmo invertendo a corrente, o fio permaneceu grudado ao gerador. Surge uma discussão interessante (*transcrição 4*):

- 60. PROF: No fio apesar de existirem elétrons livres, os átomos estão eletricamente neutros. O gerador e o fio tentam estabelecer o equilíbrio. Quem está com falta ou excesso de cargas?
- 61. MAR: O gerador.
- 62. MAR: Se acontecesse isto, deveria haver uma diminuição da corrente, porque “de certa forma” você está “freando” os *elétrons*.
- 63. PROF: Por quê?
- 64. MAR: Se os elétrons fluem no sentido [longitudinal] do fio e você os traz para a superfície do fio, você impede o movimento deles. Então, você teria uma diminuição da corrente.
- 65. PROF: Pelo que você está dizendo, você aumentaria a resistência do fio.
- 66. MAR: É exatamente isto que eu queria dizer! Talvez isto faça sentido!
- PAUSA
- 67. PROF: É. Talvez você tenha razão (...)
- 68. PROF: O átomo tem elétrons livres que saltam de um átomo para o outro. Então, à medida que você está atraindo cargas elétricas, você está atraindo elétrons ou as lacunas dos átomos.
- 69. MAR: Isto! É exatamente isto!

Notem pela conversa entre o aluno MAR e o professor, que o aluno sugere que o gerador ao ser carregado, ficou com um potencial bem maior que o fio. Para manter o equilíbrio, ele atrai o fio para suas proximidades (passagem 60). A idéia do estudante é que se alguns elétrons são atraídos, você teria no interior do fio, alguns elétrons parados que atrapalhariam e dificultariam a movimentação dos outros elétrons que passam através do condutor (passagem 64). Segundo esta hipótese haveria um aumento da resistência do fio e, conseqüentemente, uma diminuição da corrente elétrica (passagem 62).

Verificamos que mesmo entre os estudantes universitários, havia confusões relacionados a palavra *campo*. Este é um tipo de dificuldade, Bachelard denomina de *obstáculo verbal*. Nas transcrições podemos verificar as características destes obstáculos:

- 6. PROF: Se você pensar *em termos de campo*, o campo elétrico do gerador eletrostático se irradia do corpo. Enquanto que em um circuito dinâmico o campo elétrico é um campo fechado no interior do fio.

7. VIT: Mas, quando circula corrente pelo fio, o campo não circula ao redor do fio?
8. PROF: Este seria um campo magnético!
9. PROF: O campo magnético forma circunferências concêntricas ao redor do fio.
10. PROF: O campo elétrico se forma no interior do fio. O campo elétrico é o responsável pelo movimento de cargas elétricas.

28. PROF: A diferença que ocorre é que no caso do gerador eletrostático o campo elétrico irradia, as cargas estão estáticas, enquanto que no caso do circuito dinâmico o campo elétrico se encontra no fio.
29. MAR: Em torno do fio?
30. PROF: Em torno não! No interior do fio. O campo elétrico é responsável pelo deslocamento das cargas elétricas.
31. MAR: Em torno do fio é o campo magnético (...)
32. SID: É. O campo magnético.
33. MAR: Eu sempre confundo o campo elétrico com o campo magnético.

Os dois trechos acima extraídos da (*transcrição 4*) mostram que os alunos (passagem 7 e 29) confundem o *campo elétrico* (passagem 33), que irradia de um corpo carregado e que é responsável por estabelecer uma diferença de potencial entre os dois pontos, com o campo *magnético* que formam circunferências concêntricas fechadas em torno do fio condutor (passagem 6 e 28).

Na segunda questão, discutimos porque uma barra de ímã aparentemente homogêneo apresenta forças de atração diferente entre os dois pólos.

91. CAR: Mas, teoricamente a orientação é a mesma na barra.
92. MAR: Igual quando o espaço é *isotrópico*, as propriedades são as mesmas em todas as direções, o ímã é puro e homogêneo.
93. MAR: Tem também a concentração do manganês em cada pedaço do ímã, isto gera uma “deformação interna” nas linhas de campo.

108. PROF: Se a gente notar, a força maior se encontra no lado em que a barra foi cortada.
109. CAR: Se cortar, você altera o ímã?
110. MAR: É faz sentido, porque pra cortar o ímã “de alguma maneira” você vai esquentar o material. Se os momentos magnéticos estão todos em uma direção, eles começam a ficar mais “distorcidos” entre si [aleatórios].
111. THI: Mas, a serra pode ser de baixa rotação.
112. MAR: De qualquer maneira o atrito gera calor.

A primeira justificativa dos alunos é que internamente o ímã não é homogêneo (passagem 92) e apresenta impurezas (passagem 93). Além disso, as condições térmicas submetidas no processo de fabricação podem exercer influências sobre suas propriedades (passagem 110 e 112).

A terceira questão tem a finalidade de verificar se o aluno considera possível, de alguma forma, “conduzir o efeito magnético”. No caso da *eletricidade*, fizemos um experimento em que a eletricidade, produzida por um gerador eletrostático, foi conduzida através de um barbante e defletia um eletroscópio colocado a uma determinada distância. E no caso do *magnetismo* isto é possível?

116. PROF: Então, pelo que você disse, não é possível transportar o “fluido magnético”?
117. MAR: Não, porque no ímã, você tem o movimento dos elétrons. É por isso que ele gera o alinhamento de dipolos e você tem um campo permanente.
118. MAR: Então, eu acho que *não é possível* transportar o magnetismo da mesma forma que a eletricidade.
119. PROF: No caso a eletricidade para ser transportada, você precisa de uma diferença de potencial?
120. MAR: Isso!
- PROF pega um ímã em formato de “U”, uma barra de ferro e um prego. Coloca o prego distante do ímã. Abandona o prego e o prego cai.*
121. CAR: É isto que ele estava falando! Você *não consegue* atrair o prego a uma distância do ímã.
- PROF, então, coloca uma barra sobre o ímã e o prego a mesma distância. O prego passa a ser atraído.*
122. MAR: Mas, o campo já estava aí!
123. THI: Você está apenas “ampliando” o campo.
124. MAR: Você só intensifica o campo. Você só explora a potencialidade que ele possui.
125. SID: Só que tem o seguinte. Na eletricidade você consegue transmitir a grandes distâncias. No caso aqui, você conseguiria atrair esse material a grandes distâncias?
126. MAR: Não!
148. PROF: Só para concluir estas idéias (...). Como seriam as linhas de força de um ímã?
149. ALI: São fechadas!
154. PROF: O que vocês podem concluir?
155. MAR: Que as linhas de campo magnéticas irradiam do material de um pólo ao outro. No caso do campo elétrico ele vai de uma carga a outra independente onde ela esteja.

Ao ser questionado se é possível conduzir o “magnetismo”, o aluno MAR descreve como seria para ele a constituição do ímã (passagem 117) e reconhece que seria impossível atrair um objeto distante do ímã, uma vez que, seria necessária uma diferença de potencial (passagem 120). No primeiro momento, o professor coloca um prego distante do ímã e, ele realmente não é atraído. Ao observar isto, o estudante CAR concorda que realmente não é possível a atração fora da ação do ímã (passagem 121). Então o professor, em um segundo momento coloca uma barra de ferro sobre o ímã e, o prego passa a ser atraído a mesma distância na qual ele se encontrava antes (*apêndice L – fig. 8*). Os alunos justificam que se

trata de uma intensificação do campo (passagens 122, 123 e 124). O estudante SID defende que isto ocorre somente para pequenas distâncias, pois segundo ALI, as linhas de campo magnético são fechadas (passagem 149). Na (passagem 155) o aluno MAR descreve o comportamento das linhas de campo magnético e elétrico.

4.3.3 Análise do questionário síntese - módulo 2

No final do curso, ao terminarmos o módulo *dois*, formulamos outro questionário (*apêndice H2*) contendo *três* perguntas, visando traçar um panorama geral das idéias dos estudantes após finalizarmos o módulo dois. As respostas a este questionário encontram-se transcritas no *apêndice I2*. Embora estas questões tenham sido respondidas de forma objetiva pelos alunos, sintetizamos as principais idéias no *apêndice J2*.

1. *O que você considera ser responsável por produzir o campo magnético ao redor do ímã? E ao redor de um fio conduzindo uma corrente elétrica? O que estas coisas têm em comum?*

O estudante MAR diz que considerando as observações feitas por eles, existem “espécies” de correntes elétricas internas ao material. O pensamento do aluno VIT se assemelha ao pensamento de Ampère ao considerar micro-correntes no interior do ímã. No caso do fio, é a corrente elétrica que circula por ele. O estudante VIT conclui que há um “movimento elétrico”. Em nível atômico, partículas em vibração (NEL), partículas girando (AND) ou o movimento angular dos elétrons (ALI) são fontes de campo magnético existente no interior dos ímãs. Em relação ao fio, os alunos consideram o movimento de cargas (AND, NEL) ou o movimento retilíneo dos elétrons. ALI reconhece que quanticamente não faz sentido falar em trajetória dos elétrons.

2. *Diferencie as duas situações: O experimento de Ørsted e o experimento de Faraday.*

Parece um consenso entre os alunos considerar que, enquanto houver uma corrente no fio condutor existe um campo magnético constante que interage com a bússola e, que o sentido do campo está relacionado ao sentido da corrente. O estudante comete um *erro* ao pensar em termos de “polaridade do campo”. Visto que o campo magnético é fechado, seria correto falar em sentido do campo (*horário* ou *anti-horário*). Em relação a segunda situação,

eles reconhecem que o “ligar” e o “desligar” da chave provoca uma variação na intensidade da corrente, que provoca uma variação no fluxo magnético e que induz uma corrente apenas enquanto houver esta variação. O estudante NEL denomina de “interação entre correntes”. Entretanto, não se trata de uma interação entre correntes, visto que não existe uma corrente no secundário, ela é uma corrente *induzida*. No caso do experimento de Ampère, ele demonstra a interação entre correntes, e a atração e repulsão entre elas, dependem do sentido das correntes e da maneira como os fios são enrolados. Parecem que, em geral, os alunos passaram a ter mais clareza dos experimentos que envolvem o *campo magnético*.

3. *Pode existir um campo elétrico sem um campo magnético? E o último sem o primeiro?*

O estudante SER considera que existe, pois são independentes: “cargas paradas” geram um *campo elétrico* e um “ímã estático” produz apenas o *campo magnético*. O estudante MAR sugere que podemos ter uma diferença de potencial gerando um campo elétrico sem que haja um campo magnético presente. Podemos entender como exemplos: uma pilha, um gerador eletrostático, etc. Outros alunos (AND, VIT), por considerarem que a fonte de campo magnético é de origem elétrica (micro-correntes), acreditam que neste caso, os fenômenos estão intrinsecamente relacionados. Para o estudante NEL *uma carga estacionária existe sem a presença de um campo magnético, no entanto, quando ela está em movimento ela “gera” este campo*.

4.3.4 *Uma análise dos questionários visando conhecer o perfil epistemológico.*

Da mesma maneira que fizemos nas etapas da *conscientização* e da *desestruturação*, neste estágio da *familiarização*, pretendemos conhecer o perfil epistemológico que está sendo apresentado pelos alunos, a fim de que possamos compará-lo com o perfil apresentado no início do curso. Esta estratégia serve de subsídios para que possamos avaliar se houve ou não, uma *alteração no perfil epistemológico* do aluno ao longo do curso proposto.

Como os dados que foram analisados por meio dos questionários, não é trivial inferir e enquadrar as concepções dos alunos nas diferentes regiões do perfil, uma vez que, estas concepções são subjetivas. Por isso, elaboramos *dois* quadros que sintetizaram e facilitaram nossa análise: um referente a cada questionário, que foram aplicados no final de cada módulo (*apêndice J1 e J2*). Uma ficha de análise (*apêndice K*) também foi criada para que, à medida

que fossemos analisando as questões, pudéssemos codificar dentro da respectiva zona do perfil. As respostas para uma determinada questão, às vezes, pode ser enquadrada em *mais de uma* zona do perfil epistemológico.

Para comparar os dados, primeiramente, é necessário um ajuste nos dados da tabela inicial (*tabela 4*). Isto porque, naquela oportunidade dividimos os trechos que identificaram as zonas do perfil pelo número de alunos analisados. Só que às vezes, a resposta do aluno podia ser enquadrada em duas ou mais categorias, a exemplo do que aconteceu nesta etapa. Assim, o correto é dividir os dados presentes em cada categoria, pela somatória destes dados. Desta forma, podemos colocar em uma única tabela, as porcentagens referentes às respostas de cada questionário analisado.

A *Tabela 5* e o *Gráfico 1* apresentam, em termos de porcentagens, as respostas dos alunos enquadradas nas diferentes zonas do *perfil epistemológico*. Inicialmente, analisamos o primeiro questionário, que foi respondido no primeiro dia de aula; em seguida, o questionário referente ao *módulo 1* (final do primeiro semestre) e; finalmente, o questionário do *módulo 2* (final do curso).

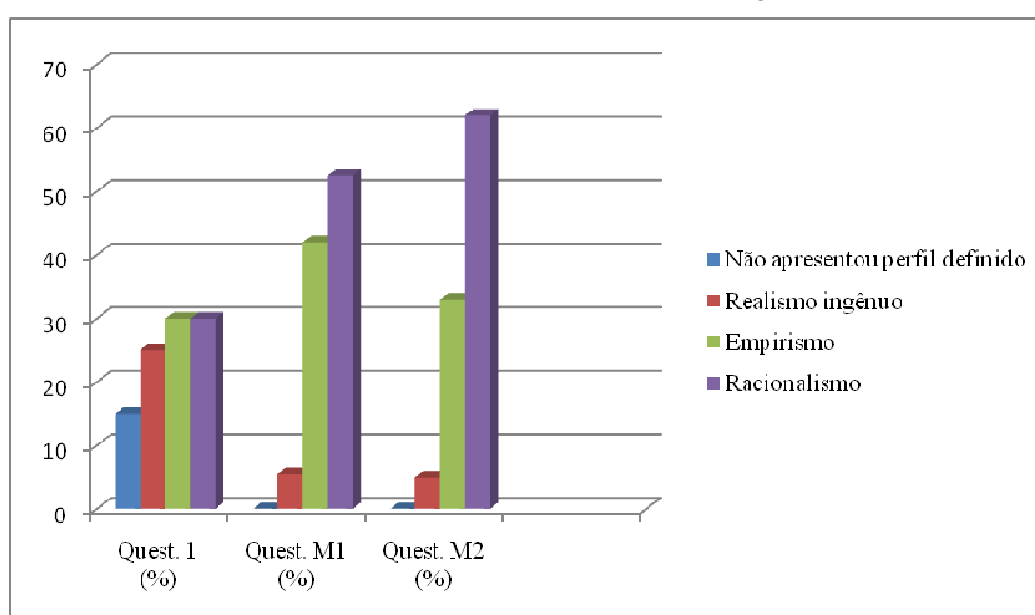
Tabela 5 – Zonas do *perfil epistemológico* (geral).

	<i>Quest. 1 (%)</i>	<i>Quest. M1(%)</i>	<i>Quest. M2(%)</i>
<i>Não apresentou perfil definido</i>	15	-	-
<i>Senso comum (observação dos fenômenos)</i>	25	5,5	5
<i>Empirismo (por meio de experimentos)</i>	30	42	33
<i>Racionalismo (Causas no mundo microscópico)</i>	30	52,5	62

Podemos verificar que, inicialmente, alguns estudantes não apresentaram perfis definidos (15%) em suas respostas. Após os encerramentos dos módulos, todos os estudantes passaram a apresentar pelos menos uma das zonas do perfil. Em relação a categoria de *senso comum*, também tivemos uma queda em relação aos dados iniciais, que eram de (25%) e caíram para (5,5%) no *módulo 1* e (5%) no *módulo 2*. Estas quedas demonstram que as idéias com “status” inferiores, se tornaram mais evoluídas, ou seja, os integrantes do curso passaram a argumentar seus conhecimentos num nível mais elevado de conhecimento. No caso do *empirismo*, que era inicialmente de (30%) notamos que houve um aumento desta porcentagem no final do *módulo 1* (42%), pois neste módulo, as questões relacionadas a esta zona do perfil

estiveram bem presentes. Em seguida, houve uma queda deste valor para (33%), ou seja, as explicações deixaram de ser baseada apenas nos experimentos e passaram a possuir uma explicação mais racional. O aumento gradativo (30%, 52,5% e 62%) é um bom indicativo, pois mostra que de uma maneira geral, as discussões realizadas em sala de aula possibilitaram o aluno ter uma visão de um conhecimento mais elaborado e sistematizado em relação aos fenômenos estudados.

Gráfico 1 – Zonas do perfil epistemológico (geral).



Sintetizando as análises feitas anteriormente, podemos dizer que, embora nós tenhamos comparado respostas diferentes e o número de alunos participantes distintos em cada questionário, foi possível verificar que o *processo de dialético* entre *razão* e *experiência*, entre o *erro* e *verdade* contribuiu para que o aluno pudesse “construir” conceitos mais elaborados e vislumbrar novos conhecimentos a partir de suas próprias concepções.

4.4 Apresentação e análise das entrevistas

4.4.1 Apresentação e análise individual das entrevistas

Esta seção se destina a apresentação das entrevistas realizadas com os alunos. Nós convidamos *quatro* integrantes do curso, para uma “conversa informal” a fim de “acompanhar

de perto” o *processo dialético* de “construção” do conhecimento. As questões foram elaboradas no momento das entrevistas de forma espontânea e, visaram verificar inicialmente, os *conhecimentos prévios* que estes estudantes trazem de experiências anteriores. Outro ponto a ser explorado e analisado, é a *visão de ciência* implícita nestes alunos. Porém, o foco principal de interesse, foi resgatar os *conceitos* que foram expressos por meio dos questionários sínteses, para que houvesse um processo de mobilização do pensamento. Este processo dialético propicia condições para que o aluno recorra àquilo que foi pensado e respondido e, com isto, torna-se possível a tomada de consciência e a retificação de seus *erros* em busca da *verdade*. Pretendemos verificar se esta *estratégia de ajustamento* entre o “agir” e o “pensar”, propicia não só ao entrevistador, conhecer melhor o perfil epistemológico do entrevistado, mas se também, ela subsidia a conscientização do aprendiz em relação ao seu próprio *perfil epistemológico*. Desta forma, no final da entrevista, solicitamos aos estudantes que esboçassem seus próprios perfis (*apêndice M*). A análise destas entrevistas pode nos indicar se esta estratégia foi profícua à formação de novas regiões do perfil epistemológico.

ENTREVISTA: Aluno NEL

1. **Entrevistador:** Primeiramente, eu gostaria de saber quais foram suas experiências anteriores relacionadas ao eletromagnetismo?
2. **NEL:** Devido à minha profissão de técnico, eu tive a oportunidade de ter mais contato na área “prática” de aplicações. Por exemplo, eu trabalhei com automação industrial, instalação de motores elétricos, esta parte de implementação (...). No entanto, esta parte de *filosofia* e a *teoria* “da coisa”, de como foi que surgiu (...), foi sempre muito “superficial”. Foi mais no colégio mesmo! No caso, no colégio técnico.
3. **Entrevistador:** Você fez eletrônica ou eletrotécnica?
4. **NEL:** Eletrônica. Mas, eu tive eletrotécnica no Senai. Então, eu já tinha uma familiarização com a “coisa”. Mas eu nunca tinha acompanhado o desenvolvimento cronológico-histórico, de onde surgiram as idéias, quem foram os cientistas (...), isto que a gente acabou acompanhando neste curso. Mas, eu tinha noção de como seria o funcionamento básico dos conceitos (...). Agora, como surgiu (...), quem foram os cientistas (...), não!
5. **Entrevistador:** Então, você iniciou seus estudos no Senai?
6. **NEL:** Isto, no Senai!
7. **Entrevistador:** Antes disso, você tinha feito experiências básicas com pilhas, ímãs, (...)?
8. **NEL:** É. Na infância eu cheguei a fazer umas “brincadeiras” com interruptor simples para ligar uma lâmpada. Mas, aquelas “coisas” que a gente vê, inclusive na graduação, que a gente acaba “descobrimo” dos experimentos com material do dia-a-dia, onde você pode enrolar uma “bobininha” com fio e, aí você coloca uma “pilhazinha”, utiliza um “ímãzinho”. Isto aí, eu nunca tinha feito (...), apesar de eu sempre me interessar por ciências, eu nunca tinha feito isso na infância. O primeiro contato com o eletromagnetismo foi no Senai, com 14, 15 anos.

9. **Entrevistador:** Quando a gente fez o experimento do ímã com o dinamômetro para verificar a intensidade da força de atração dos pólos, você comentou que, ao manusear pequenos ímãs quando você era criança, você notava que a atração entre dois ímãs, era mais intensa que a repulsão entre eles (...).
10. **Entrevistador:** Você ainda concorda com isto, ou não?
11. **NEL:** Eu acho que é uma “impressão” que a gente tem, pois em termos de força, a atração e a repulsão teriam que ser iguais. Eu acho que é mais uma impressão, na hora de interpretar. É difícil perceber (...). Às vezes, eu acho que teríamos que fazer vários testes e medidas para se verificar, medir a distância, comparar (...). Eu acho que é uma “falsa impressão” (...). Apesar de isto realmente acontecer! Agora porque acontece (...)? Talvez seja porque, a força de atração tenha um “módulo” maior que a força de repulsão. Eu não teria como responder se isso realmente é verdade! Acho que teriam que ser iguais, né?
12. **Entrevistador:** Teoricamente você acha que (...).
13. **NEL:** São forças iguais, mas a impressão que dá é que, a atração é mais intensa.
14. **Entrevistador:** A experiência não te daria uma “resposta correta”?
15. **NEL:** Só se for com muita experimentação, talvez com uma repetição maior do número de experimentos, se conseguisse “chegar à resposta”.
16. **Entrevistador:** Você acha que a experiência (...).
17. **NEL:** Contribui pra eu entender?
18. **Entrevistador:** Não! Você acha que a experiência é a fonte da verdade?
19. **NEL:** Eu acho que sim!
20. **NEL:** Se eu conseguisse mensurar estas forças, eu acho que eu chegaria à “resposta”.
21. **Entrevistador:** Você confia nas respostas que o experimento te fornece?
22. **NEL:** Eu confio! Eu estou “vendo” o que está acontecendo! Pra mim, é bem forte este “argumento”!
23. **Entrevistador:** Como você conceberia a estrutura interna do ímã?
24. **NEL:** O ímã (...)?
25. **Entrevistador:** Porque é assim (...), existem fenômenos que você consegue ver (...).
26. **NEL:** Certo! E aí, é mais fácil de entender (...).
27. **Entrevistador:** Exato!
28. **Entrevistador:** Agora, têm fenômenos que você “não consegue visualizar”. Tem que interpretar, criar modelos, etc.
29. **Entrevistador:** Então, como você imagina o ímã?
30. **NEL:** A estrutura atômica seria aquela famosa “estrutura clássica”. Você tem os átomos do ímã, todos com os momentos magnéticos alinhados. Todos na mesma direção! Então, eu imagino várias partículas, vários “pedacinhos”, vamos usar este “linguajar”. A estrutura com todos os átomos alinhados, com a mesma “orientação magnética”.
31. **Entrevistador:** Estas partículas você imagina como “pequenos ímãs” ou pequenas “partículas girando”?
32. **NEL:** Eu imagino um átomo com os “elétrons girando”.
33. **NEL:** Mas, para entender, seriam pequenos “ímãzinhos alinhados”, formando um “montante”. Mas, indo mais “à fundo”, seriam todos os elétrons tendo o mesmo “sentido de rotação”.
34. **Entrevistador:** E, num material de ferro ou aço?
35. **NEL:** Eles estariam todos desordenados. Alguns materiais metálicos tendem a esta orientação, ou seja, têm “facilidade” em se alinhar.
36. **Entrevistador:** E como se poderia ordenar estas partículas?
37. **NEL:** Um eletroímã poderia ordenar estas partículas, fazendo passar ao redor do ferro, uma corrente elétrica.

38. **Entrevistador:** Você poderia comentar a diferença entre o experimento de Ørsted e de Faraday?
39. **NEL:** Deixa-me lembrar (...).
40. **NEL:** Do Ørsted, você passa a corrente pelo fio, a agulha se movimenta enquanto houver corrente. Do Faraday, você tem dois enrolamentos, o primário ligado a uma bateria e o secundário ligado a um galvanômetro. Quando você liga ou desliga a corrente no primário, existe uma variação instantânea da corrente no secundário?
41. **Entrevistador:** Exato!
42. **NEL:** Do Ørsted, eu acredito que a agulha da bússola se alinha e se mantém enquanto houver a presença de um “campo magnético”, “orientando” ela. A gente sabe que se houver uma corrente elétrica no fio, haverá um “campo” ao seu redor (...)
43. **Entrevistador:** Ela se movimenta quando (...)?
44. **NEL:** Quando se energiza o fio.
45. **NEL:** A agulha está em repouso orientada pelo campo magnético da terra.
46. **Entrevistador:** E, o que a “empurraria”?
47. **NEL:** Seria a “atração magnética” gerada pelo campo eletromagnético. Seria o mesmo “princípio” de atração de duas pedras de ímã. Só que no caso, tem uma força magnética gerada pela eletricidade no fio (eletromagnética) e, a bússola já é um pequeno “ímã”. E ela tende a “se alinhar” com a polaridade, *norte* ou *sul*, dependendo do “campo” existente ali. Eu entendo assim (...). No caso do experimento do Faraday, você tem duas bobinas (...)?
48. **Entrevistador:** Sim! É uma “espécie de transformador”.
49. **NEL:** Na hora em que você “aciona” (...), fecha o circuito, no “primário”. Você tem uma “resposta” no “secundário”, mas ela não mantém, porque, você precisa ter uma “oscilação” da corrente e do “campo” para “induzir” uma corrente no secundário. Precisa ter uma “alternância” (...).
50. **Entrevistador:** As cargas precisariam estar (...)
51. **NEL:** Acelerando ou desacelerando (...).
52. **Entrevistador:** Em relação à eletricidade e ao magnetismo. Você acha que existe eletricidade sem magnetismo e magnetismo sem eletricidade?
53. **NEL:** É complicada esta pergunta!
54. **Entrevistador:** Diga, em sua opinião (...).
55. **NEL:** Eu ainda não parei pra pensar sobre isto. No caso, em meu trabalho, no meu dia-a-dia, a gente não “para pra pensar”. A gente fica “mais na prática”. Mas, se você for analisar, dá uma boa discussão! Em termos de magnetismo sem eletricidade (...), eu acho que caminham separados (...), e pra mim, existe! Imagine um ímã (...). Ele tem propriedades magnéticas. *A priori* você não tem diferença de cargas. Em contrapartida, a eletricidade, desde que esteja em movimento, você teria o eletromagnetismo! É complicado (...).
56. **Entrevistador:** Se você pensar por outro lado, você disse que uma das *causas do magnetismo* é o “movimento de elétrons”.
57. **NEL:** É. Você tem eletricidade! De uma forma ou de outra, as cargas elétricas estão em movimento e, isto é eletricidade!
58. **Entrevistador:** Eu queria saber, o que você achou a respeito do curso?
59. **NEL:** O curso é reflexão! Se eu pudesse parar e ficar estudando, durante dois ou três meses, as atividades de um cientista, de um pesquisador, seria interessante, porque geram todas estas reflexões! De repente, eu tinha um conceito e, principalmente ao experimentar as atividades, você acaba entrando “em conflito” com o seu próprio conceito. Porque muitas vezes, você tem um conceito “superficial”. O contato com os outros participantes e colegas de curso me “instigou ao questionamento”. Eu acho que foi de muita valia! Eu,

- às vezes, poderia ter sido ainda mais participativo! Tiveram colegas mais participativos! Mas, eu acho que eu questionei (...).
- 60. Entrevistador:** Você questionou (...), sem dúvidas (...)!
- 61. NEL:** O que ficou marcado pra mim foi a “evolução”. Imagino como foi está evolução (...). Foi complicada, cheia de conflitos, porque, como você falou a pouco, não é uma coisa que você “vê acontecer”. Você tem que “acreditar” naquilo. Estes fenômenos têm a vantagem que, às vezes, você poder “verificar” parte do fenômeno. Mas, na maioria das vezes não! Para mim, foi importante conhecer, elucidar a origem dos conceitos e o desenvolvimento das idéias. Como eu disse, eu só conhecia os conceitos, na prática (...). É lógico que isto “me motiva” a ir mais a fundo e pesquisar (...)
- 62. Entrevistador:** Você acha que no percurso histórico você “identifica suas dúvidas”? E a História da Ciência “contribui” para a sua aprendizagem?
- 63. NEL:** Duvidas que eu tenha (...)? Eu acho que a História da Ciência contribui, porque é “um registro” de como foi feito! Desta forma, pra você “evoluir”, você tem que dar um passo sempre depois daquele. Você não precisa chegar agora e dizer: “Vamos redescobrir o eletromagnetismo!”. Não! A gente vai estudar e o experimento é “sempre” o “mais importante”. Fazer o experimento para ver como foi feito e, o que daria para melhorar (...). Ou seja, não cometer os mesmos “erros” e ir “direto ao assunto”. É pra isto que a História da Ciência é importante: como registro! Deixar tudo “documentado” para você ir “direto ao ponto”. Naquela época, era difícil a comunicação. Às vezes, “o cara” descobria um “negócio” aqui e, o outro descobria a mesma coisa em outro lugar. No caso do rádio, me parece que foi “outro cara” que descobriu, mas, a autoria foi dada para o Marconi. Por isto, eu acho que a História da Ciência contribui como “registro”.

O estudante NEL caracteriza-se por ser uma pessoa bastante experiente em relação ao nível experimental. Ele fez alguns cursos técnicos que o credenciaram a exercer uma profissão, na qual, a *prática* é fundamental. Por outro lado, o curso de Física lhe propiciou uma *visão teórica* dos conceitos. Ele relatou que teve pouco contato com o tema em sua infância.

O entrevistado havia dito durante os encontros que quando era criança, ao manusear dois ímãs, ele notava que a força de atração “parecia” ser maior que a de repulsão. Ao ser interrogado a respeito disso, ele afirma que talvez seja uma “falsa impressão”, mas que, realmente é isto que acontece quando se *observa* a interação entre dois ímãs (passagem 11). *Teoricamente*, ele acredita que ambas as forças deveriam ser “iguais” (passagem 13). Para o estudante, o experimento é a fonte da verdade (passagem 19) e um forte argumento (passagem 22) capaz de lhe fornecer uma resposta definitiva ao problema colocado. Para ele, uma “maior coleta” de dados (passagem 15) poderá esclarecer os problemas científicos. Em nenhum momento, ele sugere uma mudança no método investigativo.

Ao ser colocado em uma situação em que requer *abstração*, como no caso de explicar a *estrutura interna do ímã*, o aluno NEL disse que, imagina esta estrutura como um *conjunto de pequenos ímãs alinhados* (momentos magnéticos ordenados), mas que, por meio

de um aprofundamento conceitual, poderíamos conceber o ímã, como *elétrons girando ao redor dos átomos com o mesmo sentido de rotação* (passagens 30 e 33).

Ao explicar o experimento de Ørsted, o aluno embora reconheça a presença de um campo ao redor do fio, ele explica que a interação entre a corrente e a bússola é semelhante à interação entre dois ímãs, sendo que o campo teria uma polaridade: *norte* ou *sul* (passagem 47). Ora, o campo magnético é fechado e, ele tem um sentido de rotação! O estudante, explica perfeitamente o experimento de Faraday, dizendo que só haverá presença de uma corrente no secundário, quando as cargas elétricas no primário estiverem *acelerando* ou *desacelerando* (passagem 51).

Inicialmente, NEL afirma que não existiria magnetismo sem eletricidade (passagem 55). Porém ao ser lembrado pelo entrevistador que ele havia dito que considerava o movimento dos elétrons como sendo a causa do magnetismo, ele acaba reconhecendo que o *magnetismo* tem uma “causa elétrica” (passagem 57).

Em relação ao curso de História da Ciência, o estudante relatou que o curso o instigou ao questionamento, provocou conflitos e o fez *refletir sobre conceitos abstratos*. Apesar disso, ele considera que a História da Ciência é importante apenas como “registro do passado”.

ENTREVISTA: aluno VIT

1. **Entrevistador:** Inicialmente, eu gostaria de saber o que te levou a fazer Física e, que tipo de experiência você teve em relação à eletricidade e ao magnetismo?
2. **VIT:** Em relação à primeira pergunta, eu acho que foi a “gama” de conhecimentos que a Física proporciona. Eu pensei em fazer engenharia, mas você fica restrito a uma área e, a Física é um conhecimento mais abrangente.
3. **Entrevistador:** E, você está satisfeito com sua escolha?
4. **VIT:** Sim, estou plenamente satisfeito!
5. **VIT:** Em relação à segunda questão (...).
6. **Entrevistador:** Sua experiência anterior (...).
7. **VIT:** Não sei se isto conta, mas eu trabalhei quase dois anos com instalação de som em automóveis. Então, eu trabalhei numa parte bem *prática*, que é soldar fios, manusear equipamentos (...). Eu utilizava a “teoria” básica, pra resolver um trabalho “prático”.
8. **Entrevistador:** Na escola, você chegou a “ver” eletricidade?
9. **VIT:** Eu “vi” somente a parte de eletrostática.
10. **Entrevistador:** Que tipo de ensino você cursou?
11. **VIT:** O ensino público. Eu vi eletricidade durante seis meses, mas foi “superficial” (...).
12. **Entrevistador:** Em relação ao nosso curso, a gente fez algumas experiências, algumas coisas pra “levantar” dúvidas. O que você achou disso?
13. **VIT:** Eu achei o curso muito bom e esclarecedor. Apesar de eu não ter muita base, o curso foi proveitoso porque trouxe “episódios” históricos que posteriormente me

- ajudaram a compreender a disciplina “oficial”, uma vez que, eu já conhecia “personagens” como o Volta, Faraday, etc.
14. **Entrevistador:** Você considera que o estudo histórico te ajudou na aprendizagem?
15. **VIT:** Com certeza!
16. **Entrevistador:** Em que sentido?
17. **VIT:** Quando você percebe, por exemplo, que a invenção da pilha por Volta, ocorreu por meio das pesquisas de Galvani com um animal, no caso a rã, você percebe os caminhos percorridos pelos cientistas; caminhos que, às vezes “não deram certo”. Isto ajuda a compreender como a ciência é feita. Este é um lado bom! Outro lado é o de verificar historicamente como os cientistas pensavam. Eu acho que fica mais fácil para assimilar o conteúdo, porque, como aluno, eu posso me situar como eles pensavam naquela época e, então, “reconstituir” este conhecimento.
18. **Entrevistador:** As dúvidas que eles tinham e as diferentes concepções (...). Você acha que, você teve ou ainda têm dúvidas semelhantes?
19. **VIT:** Inclusive algumas dúvidas que eu tinha, eu consegui esclarecer no curso, outras, existem até hoje (...).
20. **Entrevistador:** Bem, duas coisas (...). Primeiro vou explorar esta parte (...).
21. **Entrevistador:** A falta de respostas te incomoda?
22. **VIT:** Incomoda um pouco. Eu sei que é impossível você saber tudo detalhadamente, inclusive, ao “ver” um experimento, saber o que “realmente” está acontecendo. Mas, não tem jeito né? Eu aprendi, um pouco, a me conformar em não ter a resposta pronta.
23. **Entrevistador:** Mas, este se “conformar” (...), não é se “acomodar”, é?
24. **VIT:** Não! É estar sempre “buscando respostas”. Não imediatamente, porque certas coisas exigem um “amadurecimento” maior.
25. **Entrevistador:** Porque você sabe (...) a finalidade do curso não foi dar respostas, mesmo porque, existem coisas para as quais não se tem respostas, mas o propósito foi plantar algumas “sementes”, discutir, colocar idéias em “xeque” e buscar conjuntamente soluções para os problemas colocados.
26. **Entrevistador:** Outro ponto: você citou que algumas idéias que não deram certo no processo histórico (...).
27. **VIT:** É meu ponto de vista! Pelo que eu percebi por meio do curso, é que, existe um debate entre idéias. Não é assim: “Newton foi lá e descobriu a mecânica”. Apesar de ele ser um dos maiores físicos de todos os tempos, a mecânica foi sendo “construída” por um grupo de pesquisadores que foram “buscando respostas”. Então, a mesma coisa acontece analisando as teorias do fluido único e a dos dois fluidos. Elas foram concepções concebidas na época. Foi um debate de idéias que foram ocorrendo, e que, embora uma “teoria prevaleça”, a outra [teoria], não está “totalmente errada”.
28. **Entrevistador:** Estas teorias ajudaram a gente a constituir nossa concepção atual. Não estou afirmando que a teoria que a gente possui, seja a “correta” (...).
29. **VIT:** Este debate de idéias é sempre bom, porque dizer: “Ah! Derrubou uma das teorias” Não é bem assim! Por que estes debates ajudam a perceber quais são os “pontos fortes” e, quais os “pontos fracos” daquela teoria. Isto acaba enriquecendo as duas. No final, uma delas tem que sobressair. Mas as duas acabam sendo extremamente “importantes” (...).
30. **Entrevistador:** Você já fez alguma disciplina sobre filosofia da ciência?
31. **VIT:** Ainda não!
32. **Entrevistador:** Você tem umas idéias muito interessantes sobre o assunto (...).
33. **Entrevistador:** Em relação à eletricidade estática e dinâmica, você disse que elas possuem *causas* iguais, porém, *efeitos* distintos (...).
34. **VIT:** Talvez, o que eu tenha pensado seja o fato de que em ambas, você tem como agente causador: *a carga elétrica*.

35. **VIT:** No sentido de efeitos diferentes, talvez seja isto (...) é difícil (...).
36. **Entrevistador:** Seria o caso do pente atritado atrair pedacinhos de papel e o fato da pilha não atraí-los; no caso do fio conectado a uma pilha, você consegue acender uma lâmpada e, a gente não tem este efeito com um pente atritado. Estes efeitos você atribuiria a quê? Por que um pente atrai pedacinhos de papel?
37. **VIT:** Seria no caso de você ter uma diferença entre eles (...), mas, talvez minha resposta não esteja “certa” (...)
38. **Entrevistador:** Não! Está coerente (...).
39. **VIT:** Tenho que pensar melhor (...).
40. **Entrevistador:** Sem problemas (...).
41. **Entrevistador:** Vou tentar te ajudar: o que seria “carga” pra você?
42. **VIT:** Carga é uma propriedade intrínseca da matéria. O elétron tem carga negativa (...), o próton tem carga positiva (...).
43. **Entrevistador:** O fato de você atritar (...).
44. **VIT:** Você estaria dividindo as cargas. Separando as cargas (...), você não estaria “gerando” cargas, mas “polarizando” o material.
45. **Entrevistador:** E no caso do fio. Como estariam estas cargas?
46. **VIT:** Elas estariam em “movimento”. Estas cargas têm uma “energia cinética” e, isto gera um “campo magnético”. Estas cargas em movimento produzem um efeito diferente da eletricidade estática.
47. **Entrevistador:** Por que o campo elétrico atrai vários objetos e, o campo magnético atrairia os pedacinhos de papel, caso eles fossem ferromagnéticos.
48. **Entrevistador:** Você lembra aquele experimento que fizemos sobre as forças do ímã? Aquele que a gente colocava uma “pecinha” e utilizávamos um dinamômetro (...).
49. **VIT:** Ah! Sim.
50. **Entrevistador:** O que você achou disso?
51. **VIT:** O fato de um pólo ter *força maior* que o outro?
52. **Entrevistador:** É!
53. **VIT:** Eu não lembro exatamente o resultado experimental. Mas, pelo que eu estudei, “não tem diferença”, porque as linhas de campo são as mesmas. As mesmas linhas que “saem”, são iguais as que “entram” nos pólos dos ímãs.
54. **Entrevistador:** E, como seriam estas linhas.
55. **VIT:** Eu ouvi falar bastante que não existe “monopólo” magnético. Então, estas linhas são “circulares”! São “fechadas”!
56. **Entrevistador:** Não sei se você lembra aquela experiência: você tem um ímã a uma distância, por exemplo, a meio metro; este objeto não sofre ação do ímã (...). Aí a gente colocou uma barra entre eles e, daí, o objeto passou a ser atraído. A que você atribui a isto?
57. **VIT:** Na verdade, o ímã “induziu”, quer dizer, “polarizou” (...). Não sei se este é o “termo correto” (...), e aí, a barra é que acaba atraindo o prego.
58. **Entrevistador:** Este material [barra] passa a ter as propriedades do ímã?
59. **VIT:** Exatamente! Esta barra se transforma num ímã. Ela é induzida pelo campo magnético do ímã permanente, se tornando também um ímã.
60. **Entrevistador:** Como seriam estas partículas do material, tanto do ímã, como do ferro? Por que o ímã tem este tipo de partículas e, o ferro as adquire?
61. **VIT:** O ímã permanente tem propriedades de “gerar” o campo magnético.
62. **Entrevistador:** Em sua opinião, o que geraria este campo magnético?
63. **VIT:** Eu acredito que seja o alinhamento de partículas. As partículas do ímã estão alinhadas intrinsecamente e geram um “campo magnético” capaz de alinhar as partículas

- do ferro. Uma vez que, as partículas do ferro também estejam alinhadas, elas vão gerar um “campo magnético” que vai atrair o objeto.
- 64. Entrevistador:** Em uma das respostas, você disse que o ímã possuía “micro-cargas em movimento”.
- 65. VIT:** Não sei se esta resposta está “tão correta” assim (...). Micro-cargas em movimento seriam elétrons girando ou através do próprio material, porém, isto talvez não seja o responsável pelas propriedades dos ímãs. No supercondutor, o movimento ordenado é o responsável por gerar um campo magnético! Então, talvez seja isto que eu tenha pensado. O “movimento ordenado de várias cargas” produz um efeito “mensurável”.
- 66. Entrevistador:** Na *eletricidade* e no *magnetismo*, como um fenômeno pode “gerar” o outro?
- 67. VIT:** O que são gerados são “campos”! Por exemplo, uma carga em “movimento” gera um campo magnético, pois é uma propriedade intrínseca da carga. Um campo magnético em “movimento” pode gerar eletricidade a partir deste movimento.
- 68. Entrevistador:** Então, você considera que o “movimento” (...).
- 69. VIT:** O “movimento” teria influência na geração de “campos”!
- 70. Entrevistador:** Você acha que existe um determinado “campo” sem a presença do outro? Existe eletricidade sem magnetismo e magnetismo sem eletricidade? Ou você acha que um necessariamente depende do outro?
- 71. VIT:** Eu acho que existe eletricidade sem magnetismo. É o caso da eletricidade estática. Pelo menos, eu desconheço uma propriedade magnética intrínseca numa carga parada. O campo que ela gera é “totalmente elétrico”. Pode existir (...).
- 72. Entrevistador:** Existe magnetismo sem eletricidade?
- 73. VIT:** É complicado (...).
- 74. Entrevistador:** Você acha que um ímã seria um exemplo? Onde haveria eletricidade?
- 75. VIT:** Em um ímã apesar de não ter um campo elétrico, a gente tem uma “carga” ou “ordenamento de cargas elétricas” (...).

O conhecimento anterior do estudante VIT em relação à eletricidade e ao magnetismo, segundo ele, foi “superficial”. Ele trabalhou pouco tempo utilizando a parte *prática* e viu o conteúdo *teórico* básico ministrado no Ensino Médio. A princípio, queria fazer o curso de engenharia, mas o conteúdo abrangente da Física o cativou (passagens 2, 7 e 11).

Ele considerou que o curso proposto, esclareceu alguns pontos que, o ajudaram a compreender a disciplina oficial (passagem 13). O entrevistador explicou que a finalidade do curso proposto, não foi trazer respostas prontas, mas ser o foro de discussões aos problemas colocados (passagem 25). O estudante VIT disse que a falta de respostas para as suas dúvidas o instigava a buscar soluções aos problemas colocados, embora ele reconheça que, há casos em que se exige um “amadurecimento” cognitivo (passagem 24).

Em relação ao embate histórico entre as diferentes concepções, ele considera que as teorias concorrentes são extremamente importantes e, embora uma teoria acabe prevalecendo em relação à outra, não se pode dizer que a teoria superada esteja totalmente equivocada (passagens 27 e 29).

O aluno VIT considera que a carga elétrica, é a causa tanto da eletricidade estática, quanto da dinâmica. No primeiro caso, as *cargas* (elétrons e prótons) ao serem separadas seriam capazes de eletrizar (polarizar) os corpos (passagens 42 e 44). No último caso, as cargas elétricas se movendo pelo fio seriam capazes de “gerar” o *campo magnético* (passagem 46).

Para o estudante, um ímã teria linhas de campos fechadas e circulares, e, portanto, não há motivos para que um dos pólos de um ímã tenha uma força de atração diferente do outro (passagens 53 e 55). Quanto a sua estrutura interna, o movimento ordenado de várias cargas em conjunto, produz um efeito mensurável, que consiste em alinhar as partículas e, conseqüentemente, gerar um campo magnético (passagens 63, 65 e 67). Para o entrevistado VIT, o “movimento” teria influência na *geração de campos* (passagem 69). O aluno concebe a existência de eletricidade sem o fenômeno magnético (passagem 71), porém, para ele o inverso não existe, pois, o magnetismo é gerado a partir de cargas elétricas (passagem 75).

ENTREVISTA: aluno MAR

1. **Entrevistador:** Em primeiro lugar, eu gostaria de saber se você já havia tido contato com este conteúdo: *o eletromagnetismo*.
 2. **MAR:** Eu estudei o “básico” para o vestibular, mas nunca tive contato com “algo mais” (...)
 3. **Entrevistador:** Que tipo de escola você cursou?
 4. **MAR:** Escola pública.
 5. **Entrevistador:** Todo o tempo?
 6. **MAR:** É. O tempo inteiro.
 7. **Entrevistador:** O que te levou a fazer o vestibular para o curso de licenciatura em Física?
 8. **MAR:** Foi assim (...), quando eu saí do colégio, eu prestei o vestibular para engenharia. Eu sempre gostei de “exatas”. Aí, eu comecei a estudar em casa, porque, eu nunca gostei do “ritmo” do cursinho. Então, eu comprava livros no “sebo” e ficava estudando em casa. Aí ficava me perguntando: de onde vem está fórmula? Aonde se usa este conceito? Como ele surgiu? Aí eu comecei a gostar mais de Física. Aí, eu percebi que não era engenharia que eu queria fazer; eu gostava de Física (...). Aí, eu prestei o vestibular.
 9. **Entrevistador:** Eu percebo que você tem alguma facilidade com *conceitos abstratos* (...).
 10. **MAR:** Eu diria que eu sou “esforçado”. Eu tento, tento (...) até que uma hora, “cai a ficha”.
 11. **Entrevistador:** Então, você nunca teve contato direto com o tema?
 12. **MAR:** Não! Eu nunca tive contato direto com o eletromagnetismo. Eu nunca fiz experimentos, nem aqueles mais simples “com pilhas” (...). Nada!
- PAUSA
13. **Entrevistador:** Quando comparamos a eletricidade estática e a dinâmica, você atribuiu a diferença entre elas, ao “estado” das *cargas elétricas*. O que seriam estas cargas?
 14. **MAR:** O que é *carga* (...)? Pra ser sincero, eu não tenho uma definição precisa (...). Pelo que eu li, e pelas “conversas” com professores, é algo que manifesta algumas

- propriedades, no caso, propriedades elétricas. Agora, em relação ao “movimento”, ele é relativo, porque depende do referencial adotado, como a gente considera sempre como referencial o corpo que estamos analisando, então ela [a carga] estaria estática. Se ela estiver em movimento em relação aquele corpo, dizemos que ela manifesta uma característica dinâmica.
15. **Entrevistador:** Como assim?
 16. **MAR:** Se ela ficar parada em uma “posição de equilíbrio” no corpo, ela é denominada estática. No caso da corrente elétrica, elas estão em “movimento”.
 17. **Entrevistador:** Quais seriam estas cargas?
 18. **MAR:** Os elétrons ou íons. Os elétrons “nunca” ficam parados, mas em relação ao corpo, eles ficam em uma “posição de equilíbrio”.
 19. **Entrevistador:** No caso da corrente (...)
 20. **MAR:** Os elétrons estariam em movimento.
 21. **Entrevistador:** Como você concebe um átomo? Como seria um átomo pra você?
 22. **MAR:** Não faço a “menor” idéia (...). As primeiras coisas que vem em minha mente são àquelas representações que a gente aprende do Bohr, Rutherford (...), mas eu não consigo mais conceber o átomo como uma “coisa” (...).
 23. **Entrevistador:** Às vezes, você expressa a palavra “ente”, a que isso se refere?
 24. **MAR:** “Ente” é uma palavra mais bonita para dizer “coisa”. *RISOS*. Para mim, é algo *abstrato* que manifesta algumas propriedades.
 25. **Entrevistador:** Em relação aquele experimento dos pólos do ímã (...)
 26. **MAR:** Aquele que mostra que o ímã tem forças diferentes?
 27. **Entrevistador:** Você acredita naquilo, ou você acha que não tem nada a ver?
 28. **MAR:** Eu acreditei! Isto nunca tinha passado pela minha mente. E como eu nunca tive contato prático, físico ou experimental e, a gente sempre estudou uma coisa “idealizada” que “os pólos são iguais”, que “as linhas de campo são as mesmas”, isto me chocou, porque ali, eu vi que tinha realmente diferença!
 29. **Entrevistador:** Em alguns momentos, você citou que a própria estrutura do material podia não ser homogênea (...)?
 30. **MAR:** É. Isto ficou claro pra mim depois que eu entrei no mestrado, porque, você vê e estuda a formação do material e percebe erros e defeitos na composição do material. Estas imperfeições podem influenciar nas propriedades do material.
 31. **Entrevistador:** Como você imagina a estrutura do ímã?
 32. **MAR:** Bem, pra mim o material é formado por “domínios magnéticos”, que em média, ficam “alinhados” na mesma direção. São determinadas regiões imperfeitas, em que a resultante aponta para uma mesma direção.
 33. **Entrevistador:** E o que seriam estas “unidades”?
 34. **MAR:** São grãos ou domínios magnéticos.
 35. **Entrevistador:** Como eles seriam?
 36. **MAR:** Seriam espécies de “pequenos ímãs”. Quando você analisa o sólido, eles são responsáveis pelas propriedades do material.
 37. **Entrevistador:** E como você explicaria um sólido, no caso do ferro ou do aço, que não possui estas propriedades e que, se você coloca-lo em contato com um ímã, ou, fizer passar uma corrente elétrica ao seu redor, como no caso do solenóide, ele adquire estas propriedades?
 38. **MAR:** Aí tem a ver com a “facilidade” de você orientar este material, porque, a princípio, todos os materiais teriam esta capacidade. A diferença está na facilidade com que o material se alinha e, como que ele “mantém este alinhamento”, dependendo do átomo que o compõe. No caso, se a gente pegar um material que não seja magnético e, magnetizá-lo, quando se aplica um “campo”, você “força estes domínios”, que apontam

- para posições “aleatórias”, a *adquirir uma posição bem definida* e aí ele fica magnetizado.
39. **Entrevistador:** Você disse que “mantém”, o que isto significa?
40. **MAR:** Que mesmo durante um tempo depois da corrente ser desligada, eles ficam alinhados.
41. **Entrevistador:** Em alguns momentos, você disse que existiriam *correntes elétricas no material*. O que isto significa, exatamente?
42. **MAR:** Eu não estou lembrado (...).
43. **Entrevistador:** Eu perguntei o que você acredita que é responsável por criar um campo ao redor do ímã? E, o que você considera responsável por criar um campo magnético ao redor de um fio condutor?
44. **MAR:** Agora estou me lembro (...). No caso do condutor seria a *corrente elétrica* que “gera” um “campo magnético”. No caso do magnetismo, se você pegar uma barra de ferro que não seja magnética, quando se aplica um campo, você força a presença de uma “*corrente elétrica no material*”: uma corrente microscópica. *Esta corrente produz um campo magnético ao redor do material*. No ímã, esta corrente é “permanente”.
45. **Entrevistador:** Seria uma espécie de “movimento aleatório”?
46. **MAR:** Eu não diria que é tão aleatório assim. Por que em média o “campo” tem uma “orientação” e, portanto, eu acho que existe “certa ordem” (...).
47. **Entrevistador:** Não sei se você está lembrado a respeito do experimento que fizemos (...). Você pega um ímã e a certa distância um objeto (...).
48. **MAR:** Você não tinha a “ação” (...).
49. **Entrevistador:** Exato! E, aí, você pegava uma barra de ferro e colocava entre ambos. O objeto passava a sofrer uma “ação magnética” e, era atraído indiretamente pelo ímã.
50. **MAR:** Se o ímã for suficientemente intenso, ele transforma a barra de ferro em um ímã e, daí, a barra é capaz de exercer uma “atração sobre o objeto”.
51. **Entrevistador:** Você acha que isto é um transporte das propriedades magnéticas?
52. **MAR:** Eu acho que “transporte” é um termo “meio forte”, porque o que você faz é criar outro campo. Você gera outro campo a partir de um “campo original”.
53. **Entrevistador:** E, como tenderia a ser este campo?
54. **MAR:** Deixe-me pensar (...) como seriam as linhas de campo (...).
- PAUSA
55. **MAR:** O que eu tenho em mente é assim: você tem um ímã original e um objeto. O campo original vai alinhar esta barra, só que algumas linhas de campo vão fechar, mas outras, não! Depende da cadeia que você tem. Porque se tiver uma cadeia linear e for acrescentando cada vez mais objetos, a tendência é que você tenha uma magnetização apontando para esta direção, mas que, elas não fechem, ou seja, que as linhas de campo não retornem para este material. Poucas retornarão! Não sei se você consegue “entender” o que eu tentei “explicar” (...). À medida que você acrescenta objetos, algumas não retornarão.
56. **Entrevistador:** Elas vão se espalhando, dispersando?
57. **MAR:** Sim!
58. **Entrevistador:** Em relação ao estudo histórico? O que você acha? É Importante? Não é importante? É Interessante? É Chato (...)?
59. **MAR:** Eu acho super interessante! Mas, eu confesso que eu tenho problema com a leitura. Às vezes, me dá sono e, eu paro no meio do “caminho” (...), porque exige pensamento. Mas, eu acho interessante saber à origem dos conceitos. Como surgiram as idéias. Como o “cara” “sacou” a idéia? Como ele “tirou” da mente? Como ele fez? É importante saber para explicar aos outros. Como eu vou “explicar”, se eu mesmo “não sei” (...)?

60. **Entrevistador:** Estas dúvidas (...), você como uma pessoa que está aprendendo, você possui estas dúvidas?
61. **MAR:** Eu tenho! Tenho sim!
62. **MAR:** E tem algumas coisas que eu nem sei se eu vou chegar a descobrir (...). Por exemplo, a corrente está numa direção, que não tem “nada a ver” com o campo. Ambos são perpendiculares (...).
63. **MAR:** Eu já aprendi a “conviver” com estas “dúvidas”.
64. **Entrevistador:** A falta de respostas para suas dúvidas ou questões, te incomoda?
65. **MAR:** Às vezes “me incomoda”! Eu gosto de saber de onde vêm as coisas. Os livros não trazem explicações, eles simplesmente, definem (...).
66. **MAR:** Mas já foi pior! Agora eu já estou aprendendo a “conviver” com estas dúvidas.
67. **Entrevistador:** Você disse que aprendeu a lidar com as dúvidas, mas isto te desestimula?
68. **MAR:** Não, não me desestimula! Pelo contrário, eu “busco encontrar as respostas”, eu pesquiso, pergunto e, se eu não encontro, eu “aborto a missão” por um tempo (...). Depois eu volto a investigar (...).
69. **Entrevistador:** E isto te faz aprender?
70. **MAR:** Faz! Porque você tem que “correr atrás” e “pesquisar”. Este curso me deu muitas respostas, mas também me trouxe muitas dúvidas (...).

O aluno MAR disse ter tido apenas o conteúdo básico relacionado ao tema e que *não teve* anteriormente qualquer experiência prática. Sua intenção, a exemplo do aluno VIT, era ter feito o curso de engenharia. Porém, o conteúdo de Física o intrigava e ele passou a gostar mais desta área de conhecimento (passagem 2, 8 e 12).

Ao diferenciar a eletricidade estática e dinâmica e falar sobre sua *concepção de carga elétrica*, ele considera como carga, os *elétrons* ou *íons*. Para ele, os elétrons nunca ficam parados, mas em relação ao corpo ele pode se apresentar numa posição de equilíbrio. Se estas cargas se moverem em relação ao corpo, como no caso da corrente elétrica, define-se esta eletricidade como dinâmica (passagens 18 e 20). Embora ele reconheça que em seu linguajar a palavra “ente” signifique “coisa”, ele não pode mais conceber o elétron como sendo uma “coisa” (passagens 22 e 24).

Na (passagem 28) o estudante revela que, como a teoria sempre advoga que as polaridades de um ímã apresentam módulos iguais e que as linhas de campo são contínuas, o experimento lhe deixou “chocado” e lhe trouxe “conflitos”. Uma maneira de contornar esta situação foi *recorrer à teoria* e dizer que as imperfeições e defeitos na composição dos materiais, foram as causas para os “problemas experimentais” (passagem 30).

Para MAR, o ímã é formado por grãos ou domínios magnéticos (passagem 34), que seriam espécies de pequenos ímãs (passagem 36), e que, em média ficariam alinhados em uma mesma direção (passagem 32). Todos os materiais de uma maneira geral, possuem esta capacidade. Porém, para ele, os materiais ferromagnéticos teriam maior facilidade em se

alinhar e, manter este alinhamento (passagens 38 e 40). Os responsáveis pelo alinhamento dos domínios magnéticos nos ímãs seriam as correntes microscópicas ordenadas e permanentes em sua estrutura (passagem 44).

O fato de se interpor uma barra de ferro entre o ímã e o objeto que se deseja atrair, *não significa* necessariamente um “transporte” das propriedades do campo original. O aluno acredita que, na medida em que são acrescentados alguns objetos na outra extremidade da barra, algumas linhas de campo *não retornariam para o ímã* e se dispersariam⁷⁹ (passagem 55)!

O estudante MAR considera interessante o estudo histórico para saber a *origem* e o *desenvolvimento dos conceitos* (passagem 59). Ele reconhece que a falta de respostas as suas questões o incomoda (passagem 65), porém, a *falta de respostas* o “estimula” a pesquisar e aprender cada vez mais (passagem 68).

ENTREVISTA: aluno SER

1. **Entrevistador:** Eu queria saber quais foram suas experiências anteriores com este “tema”. Qual a sua vivência em relação a esta disciplina? Qual seu contato antes de entrar na universidade?
2. **SER:** O que eu tinha visto antes foi apenas o “conteúdo básico” ministrado no terceiro ano do Ensino Médio. Este foi o contato que eu tive com a eletricidade e o magnetismo.
3. **Entrevistador:** Você veio de que tipo de escola?
4. **SER:** Uma parte em escola “pública” e outra metade em escola “particular”.
5. **Entrevistador:** Então, você viu este conteúdo na escola particular.
6. **SER:** Exatamente!
7. **Entrevistador:** E depois que você entrou na universidade?
8. **SER:** Bem, o primeiro contato que eu tive com a eletricidade, foi na minha iniciação científica. Depois, no quarto semestre, eu fiz a disciplina de Física IV, cuja grade é eletricidade e magnetismo. Daí, no semestre seguinte, eu fiz a disciplina de eletromagnetismo e, finalmente, fiz este curso de extensão em História da Ciência.
9. **Entrevistador:** Como você “vê” a relação entre a disciplina oficial e a abordagem histórica?
10. **SER:** Há uma grande diferença. A disciplina oficial é “operacional”. Não há uma preocupação com a compreensão de conceitos. Há uma preocupação em resolver os mais variados problemas, utilizando o “ferramental matemático” de cálculo. O negócio é “resolver exercícios”! Eu nunca tive uma prova na graduação que verificasse o “entendimento conceitual”. Era “resolver exercícios”! Ao passo que no “estudo histórico”, tanto em iniciação científica como no curso em História da Ciência, houve uma preocupação muito grande no “entendimento de conceitos” daquilo que estava sendo lido, pensado e proposto por pesquisadores das épocas; então, para mim, a diferença é

⁷⁹ Teoricamente não existem linhas de campo magnético abertas.

- gritante! Uma é operacional. E na outra, o estudo histórico propicia um entendimento de como “a coisa” foi feita, proposta e modificada ao longo do tempo (...).
11. **Entrevistador:** No caso da evolução histórica, você acha que ela contribui na aprendizagem?
12. **SER:** No meu ponto de vista, sim! Porque as discussões ocorridas na trajetória histórica, os fundamentos a respeito de como as questões foram sendo encaminhadas, como elas foram discutidas inicialmente e, porque os conceitos foram propostos ao longo do “processo”, traz muitos elementos pra que o aluno possa entender melhor o conteúdo específico. O entendimento do processo histórico é uma ferramenta poderosa para o “entendimento” da disciplina oficial!
13. **Entrevistador:** Você acha que as teorias que não deram certo, ajudaram no desenvolvimento histórico?
14. **SER:** “Olhando” para a História da Ciência?
15. **Entrevistador:** É, porque você falou em “trajetória”. Como seria esta trajetória? Ela auxilia o desenvolvimento histórico?
16. **SER:** Nem auxilia, nem atrapalha, mas é “parte do desenvolvimento”. O desenvolvimento se dá por idas e vindas, mesmo porque, um “cidadão” coloca um conceito em uma determinada forma (...). Pode ser que, numa época posterior, outra pessoa modifique e contraponha o que ele falou. E o *certo* e o *errado* são “relativos”! Naquele momento, o que está proposto dá conta de resolver aquilo que está sendo colocado. O negócio vai se desenvolvendo e pode surgir uma nova forma de “encarar o problema”. Esta nova forma vai ser mais “abrangente” e resolver o problema de maneira mais “eficiente”.
17. **Entrevistador:** Você acha que o desenvolvimento humano tem estas características?
18. **SER:** No meu ponto de vista, sim! Mas tem que fazer uma “ressalva”. Quando eu “olho” para a História da Ciência, eu não coloco o conhecimento proposto como aquilo que é *certo*, mas eu considero aquilo que está colocado, ou seja, que a maioria da “comunidade científica” *acredita*. Então, todo o desenvolvimento e o que é aceito hoje, pode ser “obsoleto” amanhã. Provavelmente, daqui um tempo vai ser! Então, não tem “*certo*” ou “*errado*”. Quando a gente vai para o “desenvolvimento cognitivo” e a “aquisição do conhecimento” por parte do aluno, o conhecimento que está colocado hoje e aquele que está nos livros é o conhecimento “considerado como *certo*”. O que está no livro é o que é “*certo*”! Então, existe aí, o parâmetro do que é “*certo*” e “*errado*”. Se o aluno responder qualquer coisa fora daquilo que está nos livros, a questão dele, na prova, está *errada*! Então, o desenvolvimento do ser humano, a aquisição do conhecimento também se dá desta forma, com “impressões” (...). O ser humano, quando ele vai adquirindo conhecimento no “contato com o mundo”, ele vai montando propostas, que no ensino formal vão sendo revistas, reformuladas reconstruídas (...). Resumindo, tanto o desenvolvimento histórico quanto o humano se dá por *idas* e *vindas*, só que o desenvolvimento humano, no “ensino formal”, você tem um “parâmetro” do que é “*certo*” e do que é “*errado*”.
19. **Entrevistador:** Seria algo que o aluno teria que seguir (...)
20. **SER:** Exatamente! Porque os professores irão “cobrar” suas respostas através daquilo que “está colocado nos livros”.
21. **Entrevistador:** Então, você acha que existe um “imposição” para o que é *certo* ou *errado*?
22. **SER:** Sim! Porque na “prova” ele vai receber um “conceito” *certo* ou *errado* por aquilo que ele fizer (...).

23. **Entrevistador:** Em relação aos conceitos, quando abordamos as semelhanças e diferenças entre a eletricidade estática e a dinâmica, você disse que elas teriam “comportamentos *cinéticos* distintos”. O que isto significa pra você?
24. **SER:** Quando eu “olho” para estas duas eletricidades, eu visualizo como estas “cargas” estariam sob um dado referencial. Por exemplo, a corrente elétrica é um movimento de cargas elétricas. Na eletricidade estática, estas cargas estariam paradas ou em repouso em relação ao corpo.
25. **Entrevistador:** E, o quê seriam estas cargas?
26. **SER:** Eu entendo como uma propriedade da matéria, que se apresenta na “natureza” de duas formas diferentes: a *positiva* e a *negativa*.
27. **SER:** Alguns “entes” são dotados de *cargas elétricas*, por exemplo, os *elétrons*, os *prótons*. Eles se apresentam na natureza de duas formas diferentes e, suas propriedades também são diferentes. Por exemplo, se colocarmos dois elétrons próximos um do outro (duas cargas negativas), elas vão se repelir. Duas cargas positivas também. Agora, se eu colocar uma carga positiva e a outra negativa, elas se atraem.
28. **Entrevistador:** Você também citou os “*íons*” (...).
29. **SER:** Exatamente! Quando eu falo em cargas elétricas eu considero também os *íons*. Porque se você tomar a questão da corrente elétrica em uma solução iônica, os “entes” que estão se movendo são íons: *ânions* e *cátions*. Então, a corrente elétrica, neste caso, não são elétrons como num fio, mas ela é composta por íons. Ao passo que se você atritar um bastão de *plástico* ou *vidro*, você não está simplesmente retirando *elétrons* e *prótons*, você está também retirando *íons*. Então, todos esses processos envolvem cargas.
30. **Entrevistador:** No caso do magnetismo, você disse aqui que as propriedades magnéticas estão relacionadas ao “*alinhamento dos momentos de dipolos magnéticos*” dos materiais. Você pode detalhar (...)?
31. **SER:** Bem, eu “enxergo” da seguinte maneira: a “essência” do fenômeno magnético está relacionada ao “movimento de uma carga”. Então, dado uma carga em movimento, ela vai apresentar um “dipolo magnético”. Uma barra de qualquer material tem “várias cargas em movimento” e, portanto, vários momentos de dipolos magnéticos. Se estes momentos estiverem alinhados “aleatoriamente” como esta bancada, você não tem um efeito magnético global. Cada momento de dipolo está organizado aleatoriamente e, eles se anulam. Se você pegar uma barra de ímã, ela apresenta um efeito magnético: tem um pólo *norte* e um *sul*. Neste ímã, os “momentos de dipolo magnético” que o compõe, estão “alinhados”. Eles têm um alinhamento preferencial. E, é este conjunto que dá as características magnéticas para a barra.
32. **Entrevistador:** O que você entende por “momento de dipolo”? Mais especificadamente, pela palavra “momento”?
33. **SER:** Esta é uma boa pergunta! Eu não tenho uma resposta clara (...).
34. **SER:** Bem, eu até conheço as expressões matemáticas relacionadas ao momento de dipolo, mas, definir conceitualmente (...), eu não me “arriscaria”.
35. **Entrevistador:** Estaria relacionado com giro, ou não tem nada a ver?
36. **SER:** Este campo é um tanto “nebuloso” para mim, porque, se a gente pegar uma espira de corrente, ela vai ter um momento de dipolo magnético. O movimento de cargas, nessa espira, vai produzir um momento de dipolo magnético. Você poderia calcular o momento, por meio da intensidade da corrente, do diâmetro da espira (...), você teria um momento de dipolo magnético. Numa forma clássica, aonde se considera que o *elétron* “orbita em torno do núcleo”, você tem também um momento de dipolo magnético. A essência, na forma “clássica”, o elétron orbitando em torno do núcleo, você tem um movimento circular e isto produz um momento de dipolo magnético, que também é passível de cálculo. No entanto, este é um “modelo clássico” que o elétron está girando em torno do

núcleo. Mas, e, em um “modelo quântico”, que o elétron ora é “onda”, ora é “partícula”? Como isso se daria? Quando você calcula as densidades eletrônicas, em cada camada, elas se apresentam de forma diferente, em forma de “esfera”, em forma de “halteres”. E aí? Como se dá isso? Para mim, isto é “muito nebuloso”. Se você tomar o modelo clássico, em que o elétron gira ao redor do núcleo, você tem um momento de dipolo magnético, mas, e quando você não o toma como uma “partícula girando”? E daí? Isto é uma *dúvida* que pra ser sincero, eu conversei com professores quando eu fiz a disciplina de estrutura da matéria (...), quando eu estudei a questão do “spin” (...), à questão do “elétron” (...), eu tentei entender este “negócio” e na época eu cheguei a conclusão que talvez “não fosse o momento” (...).

37. Entrevistador: Que momento?

38. SER: Do meu “amadurecimento” cognitivo!

39. Entrevistador: Vou aproveitar e fazer uma pergunta: a falta de resposta te “incomoda”?

40. SER: Não! Hoje não! Na época que eu fiz a disciplina de “estrutura da matéria”, me incomodava um pouco. Quando eu comecei a graduação, a falta de respostas me incomodava totalmente, porque eu vim pensando que eu iria encontrar as “respostas” para todas as minhas “questões”. E para cada pergunta que eu tinha, não aparecia a resposta. Apareciam duas ou três questões que também não tinham respostas. Eu vejo como um “divisor de águas” uma resposta que um professor me deu: “A Física em determinados momentos ela ‘descreve’ muito bem o fenômeno, mas, ela não dá o ‘por que’ daquilo”. A partir daí, eu comecei a relacionar com minhas dúvidas. Muitos “porquês” que eu não tinha, não era eu que não os encontrava. Muitos eram! Mas, muitos “porquês” a Física não tinha (...). E o estudo da História da Ciência foi me mostrando isso (...). Muitos fenômenos têm a descrição, mas não tem os “porquês”. Ao longo do tempo, eu passei a me “conformar” com isto! Saber qual é o “ponto”. Pelo menos, saber que talvez eu não tenha “amadurecimento” suficiente pra compreender (...).

41. Entrevistador: E isto te ajuda?

42. SER: Com certeza, me ajuda na “busca pelo conhecimento”.

43. Entrevistador: Existem duas situações: você pode “se acomodar” em não achar o “porque”, ou, “buscar incessantemente” este “porque”.

44. SER: Mas, eu vejo assim: o fato de não ter um “porque” pode levar a acomodação. Mas, se você não tem um porque, alguma coisa está faltando (...). Será que este fenômeno está sendo descrito corretamente? Será que a mecânica quântica está descrevendo de forma correta? E o que ela explica? De que adianta fórmulas e equações extremamente sofisticadas, sem compreender o que está por trás disso? Isto é o que não me deixa acomodar! Porque o problema está posto! Você pode “se acomodar” ou “ver isto” como um “campo de estudo”.

45. Entrevistador: Se existisse um “porque” pra tudo, seria desestimulante (...).

46. SER: Você tem razão!

47. SER: Eu tenho comigo que muitas coisas que eu estudei e fiz provas no curso oficial, eu não entendi “conceitualmente”. Não é que eu não saiba nada! Mas, eu acho que a “busca pelo conhecimento” é infinita e o “desenvolvimento cognitivo”, vai, no meu ponto de vista, “evoluindo” conforme você vai estudando, conforme você “vai buscando” (...). Eu tenho consciência que eu estou num “determinado ponto do desenvolvimento cognitivo”. Se existem coisas que hoje eu não entendo, é porque existem “coisas mais básicas” que eu ainda preciso compreender.

48. Entrevistador: Você tem um ímã e um objeto (...). A certa distância, este ímã não consegue atrair este objeto (...). Se você colocar uma barra de ferro entre eles esta atração é possível. O que estaria acontecendo na “estrutura” do ferro?

49. **SER:** No meu ponto de vista, é o seguinte: você tem um ímã e, aqui você tem um objeto que você quer que seja atraído. Este objeto, enquanto ele estiver em uma região onde o *campo magnético* for “suficientemente forte”, ele será atraído. A partir do momento em que ele passar da região em que o campo magnético não é mais suficiente para atraí-lo, não haverá interação entre eles. No instante em que a gente colocar uma barra de ferro encostado a este ímã e, bem próximo do material que a gente quer que seja atraído, o campo do ímã vai gerar um “alinhamento no momento de dipolo” da barra e esta barra vai passar a se comportar “temporariamente” como um ímã.
50. **Entrevistador:** E, quando o ferro não estiver em contato com o ímã (...)?
51. **SER:** Os momentos de dipolos estarão dispostos “aleatoriamente” (...).
52. **SER:** Quando se coloca o objeto próximo ao ferro, pode ser “em contato”, mas também pode ser “próximo” dele, o campo magnético da barra será o responsável pela atração do objeto.
53. **Entrevistador:** Você disse que não precisa estar em contato?
54. **SER:** Exatamente! Se estiver em contato, a “intensidade do campo magnético” é mais intensa e diminui à medida que se afasta da barra.
55. **Entrevistador:** Estas linhas de campo magnético, mesmo se não houver o contato entre o ímã e a barra, elas conseguem “alinhar os momentos de dipolo” através do “espaço”?
56. **SER:** Sim! Porém, quanto mais distante, menor será o efeito (...).
57. **Entrevistador:** Você disse que a *eletricidade* e o *magnetismo* possuem “causas” diferentes, mas que um é capaz de “gerar” o outro. Você poderia detalhar (...)?
58. **SER:** Eu entendo assim: a *carga elétrica* é uma “propriedade intrínseca da matéria”. Então, ela existe por si só. No magnetismo, não existe uma “carga magnética”. Você tem um “ente” carregado “em movimento”. Você tem ali a presença de um campo magnético. No caso de uma espira de corrente, você tem cargas *se movimentando* e você gera ali, um campo magnético e, se o fluxo do campo “variar no tempo” vai existir um campo elétrico a partir do “movimento”. Vai haver um campo elétrico!
59. **Entrevistador:** O que estas coisas têm em comum?
60. **SER:** Uma carga elétrica “em movimento” você tem um campo magnético e a “variação” do campo magnético você tem um campo elétrico.
61. **SER:** E o que estas coisas têm em comum?
62. **Entrevistador:** Você acabou de citar (...).
63. **SER:** Ah! Não sei! Talvez o fato de um gerar o outro?
64. **Entrevistador:** Não, exatamente (...).
65. **SER:** Ambos são *campos*?
66. **Entrevistador:** Fale novamente, que talvez você perceba (...).
67. **SER:** Você tem uma carga “em movimento” e você gera um campo magnético. A “variação” do campo magnético gera um campo elétrico.
68. **Entrevistador:** E como você varia o “fluxo”?
69. **SER:** Do campo magnético?
70. **Entrevistador:** É.
71. **SER:** Pode ser, por exemplo, se você tiver um ímã e “movimentá-lo” no espaço, você “varia o fluxo” do campo magnético, ou, você liga uma espira e a corrente vai de (0 a X). Quando você vem de (X a 0), isto também ocorre.
72. **Entrevistador:** Isto não te sugere alguma coisa (...)? O “movimento” é fundamental!
73. **Entrevistador:** Uma corrente elétrica em “movimento” gera um campo magnético. Um ímã “em movimento” gera um campo elétrico.
74. **SER:** Ah tá! O “movimento” (...)!
75. **Entrevistador:** Você acha que tem a ver com o “movimento”?

76. **SER:** Sim! Todos têm o movimento em comum, mas em um caso é a corrente; no outro, é o ímã.
77. **Entrevistador:** Se você tiver um fio conduzindo uma “corrente constante”, você tem a “variação do fluxo” magnético.
78. **SER:** Não!
79. **Entrevistador:** Mas, você tem um *campo magnético*?
80. **SER:** Tem!
81. **SER:** Você só vai ter a “variação do fluxo”, se você “movimentar o fio”.
82. **Entrevistador:** Como você “imagina” este *campo*?
83. **SER:** Aí a gente utiliza um recurso didático: a intensidade das “linhas de campo magnético”. Você pega na saída do ímã, você tem “um monte” de linhas de campo numa pequena região do espaço, quando você vai afastando, estas vão “se expandindo”. Para mesma porção do espaço, você tem uma menor quantidade de linhas de campo.
84. **Entrevistador:** Como você “imaginaria” esta variação das linhas? Seria como uma “expansão” ou “contração”?
85. **SER:** Eu não imagino como uma “expansão ou contração”, mas como um “aumento” ou “diminuição” das linhas de campo. Eu não vou dizer que as linhas se movimentam, mas que há um aumento ou diminuição destas linhas. É como se “surgissem” mais linhas.
86. **Entrevistador:** Baseado nisto, comente os experimentos de “Oersted” e “Faraday”. Acho que você já sabe quais são (...).
87. **SER:** São duas situações distintas: no experimento de Oersted você tem uma corrente contínua e você tem um *campo magnético gerado por esta corrente*. Se você aproximar uma bússola do fio, ela vai “defletir”.
88. **Entrevistador:** Em que momento a agulha movimenta?
89. **SER:** No momento em que você “altera a intensidade” da corrente.
90. **SER:** O experimento de Faraday é aquele que você tem duas bobinas, né?
91. **SER:** A bobina primária está ligada a uma bateria. A bobina secundária está ligada a um galvanômetro. A agulha do galvanômetro se movimenta na medida em que você liga ou desliga a bateria. Porque, a agulha do galvanômetro mede uma corrente no secundário. Esta corrente só vai “ser gerada” no momento que houver um “transiente”, ou seja, quando você liga ou desliga a bateria. Quando você liga a bateria, a corrente está a zero e vai para um valor máximo. Neste momento, há a variação do campo magnético. Há, então, a geração de um campo elétrico (...). Há uma corrente na bobina secundária, que é indicada pelo galvanômetro. Mas só no momento de “ligar” e “desligar” a bateria.
92. **Entrevistador:** E se o circuito continuar ligado?
93. **SER:** Aí não! Você tem uma corrente contínua no primário. Você tem um campo magnético, só que este campo “não varia”. Não há a “variação de fluxo”. Não há geração de campo elétrico e, conseqüentemente, não há a indução de corrente no secundário.
94. **Entrevistador:** Existe *eletricidade* independente do *magnetismo* e existe *magnetismo* independente da *eletricidade*?
95. **SER:** Eu vejo que existe eletricidade independente do magnetismo: a “*carga elétrica*”. Se eu entendo a carga elétrica como uma “propriedade intrínseca da matéria”, existe somente eletricidade! Eu não conheço que exista magnetismo sem que seja pelo movimento de uma carga elétrica (...). Então, o magnetismo não é independente de um fenômeno elétrico. Ele é gerado a partir de (...), enquanto a *carga elétrica* ela existe por si só!
96. **Entrevistador:** Você disse que o *magnetismo* é gerado por uma carga elétrica em movimento no interior do ímã?
97. **SER:** Sim!
98. **Entrevistador:** De onde viria esta energia?

99. SER: Está é uma boa pergunta que eu não tenho resposta. É provocativo (...), é provocativo (...).

A experiência vivenciada pelo aluno SER relacionada à eletricidade e ao magnetismo, além do conteúdo básico ministrado no ensino médio e das disciplinas de Física IV e Eletromagnetismo, foi também, o seu projeto de iniciação científica em que ele trabalhou com o tópico da eletricidade numa perspectiva histórica (passagens 2 e 8). Para ele, a grande diferença entre as diferentes abordagens, é que, a disciplina oficial se preocupa com a resolução de exercícios, enquanto o estudo histórico resgata o entendimento de como os conceitos foram propostos e desenvolvidos ao longo do tempo (passagem 10). O entrevistado considera que o entendimento do processo histórico é extremamente relevante para o entendimento da disciplina oficial (passagem 12).

Ao comparar o processo de construção histórica e o processo de construção do conhecimento por parte do aluno, o entrevistado considera que ambos caracterizam por *erros* e *acertos*. No entanto, no primeiro caso as teorias mais abrangentes serão consideradas corretas, à medida que, vão resolvendo os problemas de forma mais eficiente (passagem 16). O conhecimento que está estabelecido pela comunidade científica atualmente, pode se tornar obsoleto depois de transcorrido um determinado tempo. No caso da aquisição do conhecimento, existe um “parâmetro” entre o que é *certo* ou *errado* que é ditado pelos professores e pelos livros didáticos. Existe uma “imposição” para os conceitos considerados corretos e, o aluno estará equivocado, se pensar de outra maneira (passagem 18).

Ao ser questionado pelo entrevistador, o que significa dizer que na eletricidade estática e na dinâmica as cargas têm comportamentos cinéticos distintos, o estudante SER responde que *elétrons*, *prótons* ou *íons*, podem estar em repouso ou em movimento em relação ao corpo considerado (passagem 24). Segundo o aluno, as *cargas elétricas* se apresentam na natureza de duas formas distintas e apresentam propriedades que podem ser *atrativas* ou *repulsivas* (passagem 27).

Em relação à estrutura interna do ímã, o estudante explica que a “essência” do fenômeno magnético está relacionada ao “movimento” de uma *carga*, que por sua vez, está relacionado ao “alinhamento do momento de dipolo magnético do material”. O *conjunto de cargas* se movendo de “maneira ordenada” produz um efeito global que, *alinham* estes momentos de dipolos magnéticos e, conseqüentemente, confere ao ímã suas propriedades (passagem 31).

Ao ser interrogado se a palavra momento estaria relacionada com partículas girando no interior do material (passagens 32 e 35), o estudante explica que numa forma “clássica”, *os elétrons orbitando ao redor do núcleo*, resultariam num *momento de dipolo magnético*, mas que, por meio de um aprofundamento da “mecânica quântica”, o *elétron* possui uma característica dual onda-partícula e, ele não possui um amadurecimento cognitivo para explicar corretamente a palavra momento neste contexto (passagens 36 e 38).

Questionado se a falta de respostas às suas dúvidas lhe incomoda, o aluno revelou que já o incomodou bastante no passado, mas que, atualmente isto não acontece. Ele reconhece que, às vezes, falta à ele uma estrutura cognitiva “mais desenvolvida” para compreender a essência dos fenômenos (passagem 40). Segundo o estudante, a falta de respostas pode ser vista como um campo de estudo e, neste sentido, favorece significativamente a aprendizagem.

Para atrair um objeto distante de um ímã, pode-se interpor uma barra de ferro. Para o entrevistado, o *campo magnético* gerado pelo ímã alinha os momentos de dipolo magnético da barra e, esta por sua vez, atrairá o objeto. Segundo ele, a barra não precisa necessariamente estar em contato com o ímã, pois as linhas de campo magnético do ímã são capazes de alinhar os momentos de dipolo da barra (passagens 49, 52 e 54).

Ao ser questionado sobre as “causas” da *eletricidade* e do *magnetismo*, o aluno SER disse na (passagem 60), que *uma carga elétrica em movimento gera um campo magnético*, e que, *a variação de um campo magnético no tempo, produz um campo elétrico*. Ao ser interrogado o que estas coisas teriam em comum, o aluno não soube responder, mas, posteriormente reconheceu que o “movimento é fundamental” nas duas situações (passagem 76).

O estudante explicou que para ele movimento de uma *carga elétrica* ou de um *ímã*, não provoca a “expansão” ou a “contração” das linhas de campo, mas um “aumento” ou “diminuição” destas linhas que envolvem a *carga elétrica* ou o *ímã*. (passagem 85).

Ao explicar os experimentos de Ørsted e de Faraday, ele esclareceu que no primeiro caso, a agulha se move quando se altera a intensidade da corrente elétrica, e ali permanece, enquanto houver o campo magnético ao redor do fio (passagens 87 e 89). No segundo experimento, somente quando houver a variação da corrente no primário é que o galvanômetro vai indicar a passagem de uma corrente elétrica no circuito secundário (passagens 91 e 93).

Finalmente, ao ser indagado se haveria *eletricidade sem o magnetismo*, o estudante concorda que sim, pois “a carga é uma propriedade intrínseca da matéria”. No caso *do magnetismo independente da eletricidade*, ele reconhece que, se “o magnetismo é gerado pelo movimento de uma carga elétrica”, certamente não existe independência entre estes fenômenos. O entrevistador perguntou-lhe de onde viria esta “*energia*” e, ele respondeu que esta questão era provocativa! Ou seja, foi plantada uma semente (...), é uma questão aberta à reflexão.

4.4.2 Comentários gerais sobre as entrevistas e análise do perfil epistemológico esboçado pelos alunos

Após a análise individual dos entrevistados, julgamos conveniente retomarmos alguns aspectos gerais das entrevistas que podem nos indicar pontos de convergências e divergências em relação às características e ao pensamento dos estudantes entrevistados e, assim, subsidiar nossa análise sobre *perfil epistemológico* esboçado pelos alunos após o encerramento do curso.

Um primeiro aspecto a ser destacado, diz respeito à cultura em que o aluno se insere. Na infância, a “magia” provocada pelo contato com “ímãs” e por brinquedos movidos “à pilha”, despertava o interesse dos alunos (estudante NEL). O estudante revelou que quando era criança tinha a “impressão” que o ímã “puxava” e “empurrava” de maneira distinta. Esta vivência cotidiana, sem nenhuma explicação plausível, pode influenciar e acentuar a zona correspondente ao *senso comum (realismo ingênuo)*. No processo histórico, Gilbert sugeriu que o pólo norte (*macho*) era *mais poderoso* que o pólo sul (*fêmea*), o que revela as características do pensamento *pré-científico*.

Os estudantes NEL e VIT tiveram experiências práticas e profissionais que certamente contribuíram para a formação da região do perfil denominada *empirismo* que é caracterizada pela *observação, manipulação e mensuração* dos fenômenos. O aluno NEL considera que o *empirismo* é a “fonte da verdade” e, por meio de uma “quantidade maior” de coleta de dados, é possível verificar e revelar o fenômeno estudado.

De maneira geral, a maioria dos entrevistados cursou o Ensino Médio em escolas públicas e, tiveram apenas uma “teoria básica” em relação ao conteúdo estudado. Os estudantes VIT e MAR tinham, inicialmente, a intenção de cursar engenharia, mas acabaram se interessando pelo curso de licenciatura em Física. Foi somente ao ingressar na universidade

que os estudantes passaram a conhecer mais profundamente o *eletromagnetismo*. Os conhecimentos adquiridos na graduação, iniciação científica e no próprio curso “Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo” propiciaram a eles um contato com aspectos *racionais* dos fenômenos. Esta região do perfil epistemológico denominada de *racionalismo* caracteriza-se pela *abstração*, pela *teoria* e pelo *formalismo matemático* relacionados ao tema de estudo.

De acordo com os dados explicitados e discutidos anteriormente, os entrevistados demonstram uma pluralidade de concepções que podem ser enquadradas em três regiões das escolas filosóficas do pensamento bachelardiano: o *realismo ingênuo*, *empirismo* e *racionalismo*. Estas diferentes zonas do perfil coexistem nas mentes dos aprendizes e eles podem utilizar àquela que julgar conveniente, de acordo com o contexto que está sendo trabalhado.

Durante a entrevista, quisemos conhecer a “*visão de Ciência*” implícita nos alunos entrevistados. Em relação à relevância da História da Ciência para o Ensino de Ciência, o estudante NEL considera que a história é apenas um “registro de informações” para não se “pensar” novamente o que já havia sido “pensado antes”. Os demais estudantes defenderam uma concepção antagônica e concebem a importância da História da Ciência como uma reflexão sobre o *passado* em busca de responder a uma questão do *presente*. Os entrevistados alegaram que a falta de respostas às suas dúvidas representa um estímulo ao aprendizado e uma busca incessante pela “*verdade*”. O estudante SER traça um paralelo entre a história e o ensino, considerando que em ambos, os *erros* e *acertos* são intrínsecos aos processos, mas que, no âmbito do ensino, há uma “imposição” do que vem a ser a “*verdade*”. Sendo assim, o aluno deve pensar de acordo com o conhecimento estabelecido pelos professores e pelos livros didáticos.

Para nós, o importante não é impor o conhecimento científico, mas, promover um *diálogo* entre as concepções que os alunos trazem para sala de aula e, a formação dos conceitos durante a evolução das diferentes formas de se pensar ao longo do processo histórico. Um exemplo disso pode ser pensado em relação ao conceito de *carga elétrica*. Furió e Guisasola (1998a, p. 512), relataram que a passagem da eletricidade *coulombiana* para a eletricidade *maxwelliana*, ou seja, entre a concepção da “ação a distância” e para a “teoria de campo” que representam duas regiões do perfil, se deu principalmente, devido às novas formas de conceber as cargas elétricas e a interação entre elas. Assim, acreditamos que haja uma relação ontológica e epistemológica na formação dos conceitos, e, portanto, a História da

Ciência pode subsidiar o professor a entender as diferentes formas de pensar que o aluno traz consigo.

Durante as entrevistas, nós procuramos explorar conceitualmente as concepções dos estudantes entrevistados. Em relação à *carga elétrica*, o estudante SER a concebe como sendo uma propriedade intrínseca da matéria, que se apresenta na natureza principalmente de duas formas distintas (basicamente *positiva* e *negativa*) e, que confere aos corpos as propriedades *atrativas* e *repulsivas*. Para os estudantes, falar em eletricidade estática não significa exatamente que a carga esteja parada, mas que, em média, elas estejam em uma posição de equilíbrio em relação ao corpo. O estudante MAR revela que ele não pode mais conceber o *elétron* como uma “partícula”, dado a sua característica *dual* (onda-partícula). O estudante VIT percebe que o “*movimento*” deve ser o responsável pela geração de “campos”. Os alunos sabem que uma *carga elétrica em movimento* é capaz de gerar um *campo magnético*. Portanto, é provável que o movimento dos elétrons (de forma ordenada) nos átomos que compõe a estrutura de um ímã, possa ser o responsável pela geração do *campo magnético* ao seu redor. Segundo SER (em nível clássico), este conjunto de cargas ordenadas (*elétrons orbitando ao redor do núcleo*) confere ao ímã o *alinhamento do momento de dipolo magnético* que é responsável por suas propriedades. Para um nível de explicação mais avançado (em nível quântico), ele revela que é necessário seu amadurecimento cognitivo. Para a maioria dos estudantes, existe eletricidade sem a presença magnetismo, que é o caso de uma carga elétrica. Porém, visto que o magnetismo é gerado “a partir da eletricidade”, neste caso, eles são considerados fenômenos dependentes.

As entrevistas demonstraram uma fluência no diálogo *entrevistador-aluno*. De um lado, o entrevistador tentando explorar ao máximo, a tomada de consciência do aluno por meio dos textos históricos e experimentos realizados durante os encontros. Por outro lado, o aluno expressando espontaneamente e conscientemente suas idéias: descrevendo os experimentos coerentemente (*empirismo*), e usando a *abstração* ao pensar em termos de *campos* e da *estrutura da matéria* (*racionalismo*). Os alunos já são capazes de abstrair, mas dependendo do contexto, eles podem perfeitamente pensar *empiricamente*. Este processo *dialógico* e *dialético* faz com que o aluno não tenha receio em *errar* e, propicia uma oportunidade para *retificação do erro* cometido e, um avanço em direção a um processo de abstração e a um refinamento do conhecimento científico.

No final das entrevistas, explicamos aos entrevistados a noção de perfil epistemológico e pedimos que eles esboçassem seu próprio perfil. Os estudantes não

desconsideraram a região do perfil correspondente ao *realismo ingênuo* e, alegaram possuir resquícios desta forma de pensar. O estudante NEL considera que suas zonas relativas ao *empirismo* e *racionalismo* se equivalem. Segundo ele, sua profissão contribui para a primeira zona, enquanto que, o curso de licenciatura em Física e o curso proposto, neste trabalho, contribuem para última região do perfil. O aluno VIT acredita que em seu perfil, prevalece o *empirismo* visto que ele revela não possuir uma base sólida sobre o conteúdo estudado. Já os estudantes SER e MAR consideram o oposto, ou seja, o *racionalismo* possui um “status” mais elevado em suas formas de pensar.

Se fizermos uma retrospectiva sumária em relação ao curso ministrado, podemos lembrar que no início do curso, ao estudarmos o processo histórico e ao regressamos as primeiras concepções da *eletricidade* e do *magnetismo*, os alunos perceberam que as concepções de *senso comum* eram consideradas fontes de *erros*. No entanto, por meio de um experimento sistematizado era possível evidenciar alguns fenômenos, e tirar por *indução* algumas teorias. No entanto, a história mostra que é preciso ir além: é preciso abstrair para conhecer a *estrutura da matéria*; é preciso pensar em termos de *campo* para conhecer os *fenômenos eletromagnéticos*. A História da Ciência nos faz refletir sobre a didática em Ensino de Ciências. Assim, acreditamos que, o curso “Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo” contribuiu, com a sua metodologia, para atribuir uma conotação positiva ao erro e, dar oportunidade ao aluno retificar sua própria maneira de pensar. Desta forma, os encontros realizados propiciaram a aquisição de novas zonas do perfil e, conseqüentemente, o aprendizado de um conhecimento mais elaborado e mais sistematizado, num caminhar para uma objetivação crescente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

“O homem que tivesse a impressão de nunca se enganar estaria enganado para sempre” (BACHELARD, 1996, p. 295).

O projeto de pesquisa realizado teve por objetivo central, compreender em suas peculiaridades, como o *processo dialético* entre a *razão* e *experiência*, entre o *erro* e a *verdade* contribui para que o aluno adquira novas zonas ou regiões do perfil epistemológico, ou seja, como esta metodologia de ensino pode ser profícua para que o aluno evolua sua forma de pensar em direção a um conhecimento mais elaborado e mais sistematizado, para uma melhor coerência *racional*. O referencial adotado, para a análise dos resultados foi à epistemologia de Gaston Bachelard, baseada em suas características *histórica*, *descontinuista*, *racionalista* e *dialética* e nas noções de *obstáculos* e *perfil epistemológico*. O estudo se pautou na *desestruturação* do saber, norteado pelas etapas *do tempo crítico da psicanálise* proposto por Santos (1998) e, fundamentado no próprio Bachelard: *conscientização*, *desequilíbrio* e *familiarização*. Os dados analisados neste trabalho foram obtidos a partir de um curso de extensão universitária, em que, abordamos fundamentalmente o desenvolvimento dos conceitos históricos sobre a *eletricidade*, *magnetismo* e *eletromagnetismo*. Os sujeitos integrantes da pesquisa eram alunos graduandos do curso de licenciatura em Física da Unesp/Bauru. Diante do panorama geral apresentado acima, vamos refletir acerca dos resultados obtidos.

A epistemologia de Bachelard subsidiou o desenvolvimento da pesquisa, apresentando elementos fundamentais para a compreensão do processo de construção de conceitos, bem como, do processo cognitivo em sala de aula. Assim, ao admitirmos que o estudo histórico relacionado à evolução de conceitos científicos pode nos auxiliar a compreender a formação destes conceitos no processo de aprendizagem, devemos considerar o caráter *idiossincrático* do conhecimento e, perceber que o aluno possui uma história pessoal e que está inserido em uma cultura peculiar. Outro aspecto a ser destacado, é que tanto na evolução histórica, quanto na evolução psicológica, o conhecimento evolui de forma *descontínua*, marcado por *rupturas*. Sendo assim, o conhecimento novo não é uma sequência da idéia elementar. Esta nova concepção é uma *reestruturação* das idéias contidas no

paradigma anterior. Finalmente, outra característica marcante e fundamental da epistemologia bachelardiana e que, utilizamos em nosso trabalho empírico, se refere ao o caráter *dialético* do conhecimento. Bachelard se coloca num ponto central entre *experiência* e *razão*. Nenhuma, nem outra, é a fonte absoluta da *verdade*. Este processo de “ajustamento” promove um refinamento do conhecimento científico e cognitivo.

Para Bachelard, a superação de *obstáculos* ontológicos e epistemológicos é a condição necessária para a evolução das idéias. O *erro* é o resultado de uma forte ligação do aprendiz aos *obstáculos* sedimentados pela vida cotidiana, ou melhor, ele decorre principalmente pela presença de *concepções alternativas*, que é fruto do passado e da cultura própria do sujeito. Bachelard defende não a condenação ou a eliminação imediata do *erro*, mas estando ele arraigado na mente do aprendiz e, sendo ele intrínseco ao processo de aprendizagem, o autor advoga sobre a *conscientização* e a *retificação* destes elementos no desenvolvimento de uma nova concepção. Esta nova concepção consiste num alargamento de base da idéia anterior.

Surge então, uma noção bachelardiana extremamente relevante, que exploramos em nosso trabalho: o *perfil epistemológico*. Trata-se, como já vimos de uma estrutura hierárquica de poder entre teorias científicas ou entre concepções individuais. Na medida em que, o conhecimento evolui a nova concepção adquire um “status” mais elevado, ou seja, com um maior poder explicativo, enquanto que, a concepção prévia tem o seu “status” diminuído.

Ao iniciarmos o nosso estudo, procuramos *conscientizar* os alunos que muitos dos conhecimentos que eles possuíam e traziam para a sala de aula, não davam conta de explicar os fenômenos que eles “julgavam” conhecer. Trata-se da etapa denominada *conscientização*. O primeiro questionário mostrou que muitos alunos se defrontaram e relataram algumas “anomalias” em sua compreensão sobre o eletromagnetismo e, sentiram necessidade de *reestruturar* seus conceitos. Esta análise se baseou nos aspectos ontológicos, ou seja, nas expectativas individuais dos sujeitos e não em aspectos conceituais. Porém, este questionário também explorou o nível conceitual e serviu de base para mapearmos um perfil das idéias e, traçarmos estratégias para os futuros encontros. Assim, analisamos como os alunos concebiam a *relação* entre os fenômenos elétricos e magnéticos: *independentes*, *interação entre fenômenos*, *geração recíproca entre fenômenos* e *fenômenos intrinsecamente relacionados*; o tipo de interação: *ação a distância* e *modelo de campo* e, finalmente; verificar como as idéias podiam ser distribuídas dentro de um *perfil* “hipotético”: *senso comum* (observação), *empirismo* (experimentação) e *racionalismo* (raciocínio lógico).

A princípio a idéia era partirmos da gênese do eletromagnetismo (início do século XIX) e avançarmos em relação às idéias posteriores, mas o primeiro questionário nos alertou que, era necessário recuarmos ainda mais, pois era preciso “exorcizar” algumas concepções arraigadas nas mentes dos nossos alunos. O estudo da História da Ciência foi a estratégia utilizada para o nosso trabalho pedagógico: “desaprender” para voltar a “aprender”. Regressamos, então, a gênese das primeiras idéias sobre a eletricidade e sobre o magnetismo, quando estas ciências ainda eram consideradas distintas. O curso foi dividido em dois módulos: o *primeiro*, partindo da gênese dos conceitos até a proposição do eletromagnetismo e, o *segundo*, abordando o desenvolvimento das idéias posteriores.

É bom esclarecer que o *objeto* elementar de estudo, no caso do magnetismo, consiste em um “ímã” comum. No caso da eletricidade, a atração entre “corpos carregados” ao serem atritados e/ou a “corrente elétrica” que percorre um fio condutor. Tal objeto de estudo se baseia no princípio da “carga elétrica”. Visando mostrar aos estudantes a evolução destes conceitos, nos baseamos em textos históricos e na reprodução de alguns experimentos. Esta foi a etapa que denominamos *deseestruturação*. Durante os encontros, os alunos expressaram suas idéias, as quais nós apresentaremos a seguir, fazendo um contraponto com o desenvolvimento histórico.

O estudo histórico mostrou que as primeiras concepções relativas aos ímãs e a corpos carregados, concebiam que estes objetos apresentavam um *poder sobrenatural*, que conferia a eles, propriedades “miraculosas”. O conhecimento elementar é uma característica de uma região denominada *realismo ingênuo*, caracterizada pelas concepções de *senso comum*. Esta região pode possuir um “status” mais ou menos presente na cultura do sujeito. Geralmente, crianças ou pessoas com menor grau de instrução possuem esta região do perfil mais acentuada. Os alunos parecem ter superado esta zona do perfil, embora, ela se encontre presente em menor grau.

Com as técnicas de *observação*, *manipulação* do objeto de estudo e *experimentação* sistematizada, o conhecimento científico *rompe* com o senso comum. Esta região do perfil epistemológico é denominada de *empirismo*. Geralmente, este nível de pensamento considera a matéria *contínua* e, a propriedade de atração é atribuída a “*effluvios*” que emanam de ímãs e de corpos carregados. Podemos fazer uma analogia entre os pensamentos de Gilbert e do estudante NEL. O cientista parece sugerir que o pólo *norte* (macho) possui maior poder de atração que o *sul* (fêmea). Este obstáculo pode estar relacionado à *libido*, ou a *obstáculo animista*. O estudante revelou “impressões” semelhantes ao manusear ímãs na infância.

Segundo ele, o poder de atração parecia ser “mais intenso” que de repulsão. Provavelmente, o fascínio despertado pelas propriedades atrativas e repulsivas dos ímãs pode ser a origem destes obstáculos, que são caracterizados pela *experiência primeira*.

Este nível de pensamento, no campo da eletricidade, é repleto de *obstáculos*. Podemos elencar vários destes obstáculos na história da eletricidade e, verificar que, no campo pedagógico, os alunos possuem obstáculos análogos. A *experiência primeira* é um obstáculo ao conhecimento científico. O fascínio que a eletricidade estática desperta nas pessoas, impede a compreensão real dos fenômenos. O obstáculo *substancialista* promoveu nos alunos a idéia de que o interior do corpo estava repleto de fogo (luz e calor), conforme os dados sugeriram. Por outro lado, alguns alunos reconheceram que os “elétrons” podiam ser responsáveis por estes efeitos.

Para o *empirismo*, a matéria é *descontínua*, formada por grãos e partículas menores que podem se dividir, conservando as propriedades físicas e químicas da matéria. Conseqüentemente, Peregrinus e Gilbert perceberam ao quebrar um ímã, que ele continuava apresentando propriedades magnéticas. Os alunos “perceberam” que isto ocorre não apenas à nível físico, mas também, à nível atômico e, é preciso adentrar no interior da matéria para conhecer o fenômeno com mais profundidade. Propositadamente, o professor mostrou que a observação pode ser fonte de “erros”. As ações e propriedades dos ímãs não podem ser percebidas a “olho nu”. É necessário utilizar a *razão* e criar modelos que descrevam os fenômenos. A *percepção* “dá lugar” à criação de *modelos*.

Cientistas do século XVIII e início do século XIX concebiam que a interação entre os corpos ocorria na linha reta que une as duas partículas (uma pertencente a cada corpo). Assim, forças elétricas, magnéticas e gravitacionais atuavam entre si, pelo princípio da “ação a distância” newtoniana. Nesta concepção, os corpos agiam por meio de forças do tipo “empurra-puxa” sem considerar a presença de um meio entre os corpos interagentes. O experimento realizado para determinar a força (com um dinamômetro) que os pólos de um ímã exercem sobre um objeto teve, por intuito, trazer para sala de aula o diálogo entre o “verdadeiro” e o “falso”. O experimento mostrou que, de fato, um dos pólos atrai com “mais vigor” o objeto (por meio do contato). Este tipo de interação é baseado no modelo da “ação a distância”. A concepção teórica sugerida por Faraday, baseada no modelo de linhas físicas de força concebe justamente o contrário. Segundo alguns alunos, como as linhas de campo magnético são fechadas, não haveria motivo para que as intensidades destas forças fossem diferentes.

A invenção da pilha elétrica representou uma *mudança de método*. A eletricidade dinâmica *rompe* com a eletricidade estática. Esta ruptura representou uma verdadeira “revolução” para a *unificação* da eletricidade e do magnetismo. O experimento de Ørsted mostrou que uma corrente elétrica provoca um torque na agulha magnética da bússola. A concepção que ele tinha de corrente elétrica, era um duplo fluxo de eletricidade em sentidos opostos que ele denominou de “conflito elétrico”. O conflito não se dava apenas no interior do condutor, mas também, nas adjacências do fio, por movimentos de rotações espiraladas (semelhante à atual idéia de campo magnético). A partir daí, se fazia necessário descrever os fenômenos baseado nas interpretações lógicas. Podemos considerar que, surge uma nova região do perfil epistemológico: o *racionalismo*. Biot e Sarvat interpretaram está interação como a *ação entre pólos magnéticos*. Contrário a esta concepção, Ampère imaginou a *interação entre correntes* (eletrodinâmica), ao conceber correntes microscópicas no interior da agulha imantada. Estes dois tipos de interpretações ainda se pautavam no princípio da “*ação a distância*”. Faraday consegue visualizar intuitivamente a presença de *linhas físicas de forças magnéticas*. Talvez este *modelo de campo* tenha sido o grande passo para a mudança de paradigma: a consolidação de uma nova concepção, a “*teoria de campo*”, que mais tarde Maxwell vai descrever matematicamente. O modelo de campo *rompe* com a “cosmologia newtoniana” que defende a ação em linha reta. A nova concepção está de acordo com a “cosmologia cartesiana”, que concebe que ação atua por redemoinhos ou vórtices ao redor do fio condutor.

Embora neste trabalho o modelo da *teoria de campo* tenha sido considerado uma ruptura com o modelo da *ação a distância*, faz-se necessário salientar que, existem concepções que advogam que se trata de um disputa entre paradigmas concorrentes. Outra questão fundamental, e que merece atenção, é que, não se pode afirmar categoricamente que o modelo da *ação a distância* pertence a região do *empirismo* e o modelo da teoria de campo pertence ao *racionalismo*, pois ambas podem ser enquadradas nas duas regiões do *perfil epistemológico*, dependendo se o contexto for empírico ou racional.

Durante os encontros, reproduzimos alguns experimentos históricos que foram propostos ou realizados pelos cientistas citados acima. A finalidade da maioria dos experimentos não foi *demonstrativa*. Não se tratava de um processo indutivo, no qual, a teoria é obtida por meio da experimentação. Pelo contrário. A partir do estudo de textos históricos, discutiam-se as idéias e concepções e, só então, utilizamos o experimento como o artifício para a *verificação* da teoria.

Durante os encontros, foram discutidas as concepções filosóficas que conduziram Ørsted à proposição do eletromagnetismo. Ao discutirmos a incandescência do fio metálico, o estudante SAL apresentou uma concepção análoga à idéia dos cientistas Biot e Savart. Ele disse que materiais ferrosos perdem a propriedades magnéticas com a temperatura. Ora, o fio não se torna magnético. É o campo magnético gerado pela corrente que atua sobre a bússola. O aluno ALI disse que pela incandescência era possível “visualizar” a corrente que estava passando pelo fio. Outra discussão veiculada, em relação ao experimento de Ørsted, foi a inferência feita pelo aluno SAL de que, o conflito elétrico é “exatamente igual” ao campo magnético que concebemos atualmente. Baseado na descrição do próprio Ørsted, nós mostramos que existem algumas diferenças entre estas concepções. Nota-se a presença do obstáculo *conhecimento geral*, pois é uma generalização apressada e fácil daquilo que se julga conhecer. A interpretação da época difere da concepção atual. O fato da corrente elétrica não atuar sobre a agulha de latão, foi atribuída pelo estudante MAR ao tamanho e a massa da agulha. Trata-se do obstáculo caracterizado pela *experiência primeira* ou ao *obstáculo geral*.

Notem que devido a alguns obstáculos, os “erros” aparecem. O professor não aponta estes erros ao aluno (embora ele os perceba) e, nem os corrige. O papel do professor é o de monitoramento do processo, numa atitude dialógica com os sujeitos. Os “erros” serão retificados no momento oportuno pelo próprio aprendiz, guiado pelo diálogo do aluno com o professor ou com os colegas.

O *racionalismo* fica mais evidente a partir do momento em que o aluno não podendo mais observar diretamente os fenômenos tem que criar “modelos” explicativos para interpretá-los. Surge a necessidade de compreender a estrutura atômica da matéria e imaginar como seria o interior do objeto de estudo. Esta nova região denominada de *racionalismo* concebe a descontinuidade da matéria. O modelo atômico clássico é utilizado para a descrição do objeto. O estudo histórico mostra o exemplo de Ampère, que bem antes da descoberta da teoria atômica, já preconizava a presença de “correntes microscópicas moleculares” no interior do ímã. Outro exemplo foi Faraday que, imaginou “linhas físicas de forças” numa região externa ao corpo.

Baseado nestas idéias, nós elaboramos um quadro que apresenta algumas semelhanças entre as concepções epistemológicas e ontológicas e, percebemos que, existe um paralelismo entre ambas, como advogam alguns trabalhos da área. Assim, é por meio da História da Ciência que podemos compreender os processos cognitivos dos nossos alunos e refletir sobre nossa ação pedagógica.

A última etapa do tempo crítico da psicanálise consistiu na *familiarização*. Depois de conscientizarmos os alunos de suas dúvidas e certezas e, após a utilização de situações potencialmente desequilibradora, como por exemplo, o estudo de textos históricos e estratégias de experimentações, elaboramos os questionários (*módulos 1 e 2*) compostos de *quatro e três* questões, respectivamente, que resgatavam suas concepções anteriores e as confrontavam com as concepções relacionadas à evolução histórica e, que foram discutidas em sala de aula num processo *dialético* entre o *erro* e a *verdade*. Os resultados apontaram que os alunos que, antes pensavam a matéria contínua e inerte, atuando diretamente por forças do tipo “empurra-puxa”, passaram a imaginá-la como sendo composta por *cargas elétricas* dotadas de “energia cinética” e, cujo movimento confere aos corpos suas propriedades. As interações elétricas e magnéticas passaram a ser explicadas por meio do *modelo de campo*, ou seja, aqueles alunos que não dispunham desta zona do perfil epistemológico, passaram a internalizá-la em suas culturas. Apesar disto, as regiões continuam sobrevivendo e coexistindo, podendo ser utilizadas dependendo do contexto em que se estiver trabalhando.

As entrevistas realizadas com os estudantes, após o encerramento do curso, confirmaram nossa hipótese inicial, que advogava ao *erro* um papel fundamental na aprendizagem. Os conceitos básicos, explorados nos questionários elaborados no final dos módulos 1 e 2 (etapa da *familiarização*), foram retomados pelo entrevistador. Os entrevistados demonstraram que “transitavam” com certa facilidade pelas zonas do perfil e, principalmente, apresentaram um alto nível de abstração e desenvoltura das idéias ao aplicarem os conceitos relacionados à região do *racionalismo* (que por vezes chegava a transcender ao próprio racionalismo), descrevendo coerentemente a *estrutura da matéria* e pensando as interações em termos de *campo*, o que não ocorreu no questionário inicial, na etapa da *conscientização*. Desta forma, acreditamos que o trabalho pedagógico realizado por meio de uma metodologia de ensino, fundamentada na História da Ciência e, atrelado a um processo *dialético* entre o *erro* e a *verdade*, entre *razão* e *experiência*, possa ter contribuído para que as idéias se tornassem mais plausíveis e inteligíveis dentro da cultura dos aprendizes.

O estudo comparativo feito a partir da *Tabela 5* explicita a evolução do pensamento *racionalista* e, por outro lado, explicita a regressão das concepções *realistas ingênuas*. Trata-se de mais um indicativo da eficácia da metodologia proposta. Uma ação didática que discute *ciência e senso comum, teoria e experimento, verdade e falsidade*, respeitando ambos, mas com critérios que visam uma melhor coerência racional.

Os perfis esboçados pelos alunos revelaram claramente, as diferenças individuais, narradas durante as entrevistas: VIT apresenta características mais *empíricas*; SER e MAR prevalecem concepções mais *racionais* e, NEL possui um perfil que mescla o *empirismo* e o *racionalismo*. Todos os estudantes revelaram que possuem algumas concepções, referentes ao tema abordado, que são relativas ao *senso comum*, ou seja, uma região do perfil caracterizada pelo *realismo ingênuo* que, embora possua um “status” mais reduzido, ainda continua presente nas características individuais.

Antes de finalizarmos o nosso trabalho, gostaríamos de fazer algumas considerações sobre a pesquisa realizada, para que ela possa subsidiar o trabalho do professor em sala de aula.

Em primeiro lugar, exaltar a originalidade e o caráter inovador do trabalho, que utiliza a noção bachelardiana de perfil epistemológico para investigar *um tema de estudo específico* (o eletromagnetismo) e estudar o processo dialético erro/verdade e razão/experiência, ao invés de utilizá-la para o estudo de um conceito físico particular.

O estudo da História da Ciência subsidiou nosso trabalho pedagógico, fundamentando o conteúdo a ser trabalhado na construção de conceitos. Este estudo parece ser essencial ao professor que queira estabelecer um diálogo conceitual e crítico com os estudantes no espaço social de sala de aula. O docente deve fazer uma *recorrência* ao passado visando discutir aspectos histórico-filosóficos dentro da disciplina a ensinar. Alguns podem alegar a dificuldade de se conseguir textos de fontes primárias e a dificuldade com idioma; outros podem dizer que, as histórias veiculadas pelos livros didáticos não são confiáveis. De fato, ambos têm razão. No entanto, existem muitos trabalhos publicados em periódicos, que estão disponíveis *on-line* e que são de excelente qualidade.

Outro aspecto norteador e balizador do trabalho didático é, sem dúvida, o referencial epistemológico. No nosso caso, o referencial de Bachelard nos permitiu olhar para os aspectos psicológicos e cognitivos dos nossos alunos. Ao compreender as dificuldades e as características individuais, o professor é capaz de refletir sobre a sua própria ação e redirecionar seu trabalho. Assim, sugerimos desde já, que os alunos licenciando se interessem pelas disciplinas didáticas e pelo estudo dos referenciais pedagógicos adotados na área de Ensino de Ciências, a fim de subsidiar sua atuação profissional.

As etapas da metodologia adotada (*conscientização, desequilíbrio e familiarização*), nos possibilitaram explorar as concepções prévias dos alunos visando à

construção de novas concepções. Nestas idéias conflitantes, o *erro* depois de retificado, assume o “status” de uma *verdade* “provisória”. Por outro lado, não há como condenar o *erro*, que no “conhecimento elementar”, assumiu o papel de *verdade*. Esta *dialética* atribui uma conotação “positiva” ao papel do *erro* no processo de ensino e aprendizagem.

Mas, em que sentido este trabalho contribui para o Ensino de Ciências e de que forma ele pode subsidiar o professor a refletir sobre a sua ação no ambiente escolar? Primeiramente, ele apresenta alguns elementos históricos, filosóficos e pedagógicos que podem ser úteis ao professor de uma maneira geral; mas principalmente, sendo os integrantes do curso “*Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo*”, alunos do curso licenciatura em Física e conseqüentemente, futuros professores; *esperamos ter plantado uma “semente” no “espírito” de cada um.*

REFERÊNCIAS

AGASSI, J. Ørsted's Discovery. **History and Theory**. Beiheft 2: Towards a Historiography of Science, 1963. v. 2, p. 67-74.

AMPÈRE, A. M. sur les effets des courants électriques **Annales de Chimie et de Physique**, v. 15, p. 59-76, 1820a. Disponível em: <<http://www.ampere.cnrs.fr>> Acessado em 22/nov/2007.

AMPÈRE, A. M. Théorie Mathématique des Phénomènes Électro-dynamiques Uniquement Déduite de l'Expérience Sceaux : Éditions Jacques Gabay. 1990, p. 177-78. Disponível em: <<http://gallica.bnf.fr/Catalogue/noticesInd/FRBNF35067962.htm>> Acessado em 10/nov/2007.

ARAGO, D. F. J. Expériences relatives a l'aimantation Du fer et Du l'acier par l'action Du courant voltaïque. **Annales de Chimie et de Physique**, v. 15, p. 93-102, 1820. Disponível em: <<http://www.ampere.cnrs.fr>>. Acessado em 22/nov/2007.

ARAGO, D. F. J. On Rotation Magnetism. In: **Meteorological Essays**: By Francois Arago. Translated under the superintendence of COLONEL SABINE, R. A. Treas. & V.P.R.S. London: Longman, Brown, Green and Longmans, p. 290-306, 1855.

ARAGO, D. F. J. Magnetism of rotation. In: **A Source Book in Physics**. By William Francis Magie, 1^a ed., 443-444 (Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York and London, 1935).

ASSIS, A. K. T. Teorias de ação a distância uma tradução comentada de um texto de James Clerk Maxwell, **Revista da SBHC**, n. 7, p. 53-76, 1992. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>.

_____. Arguments in favour of action at a distance. In: **Instantaneous Action at a distance im Modern Physics – “Pro” and “Contra”**, Edited by A. E. Chubykalo, V. Pope and R. Smirnov-Rueda, (Nova Science Publishers, Commack, 1999), PP. 45-56. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>.

_____. Interações na Física – Ação à distância versus ação por contato. In: **Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino**, C. C. Silva (Org.), (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006), pp. 87-102. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>.

ASSIS, A. K. T.; CHAIB, J. P. M. C., Nota sobre o Magnetismo da Pilha de Volta – Tradução Comentada do Primeiro Artigo de Biot e Savart sobre o Eletromagnetismo **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 16, n. 2, p. 303-306, 2006.

ASSIS, A. K. T.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J.; CHAIB, J. P. M. C. From Electromagnetism to Electrodynamics: Ampère's Demonstration of the Interaction between Current Carrying Wires. In: **Hand-on-Science – Development, Diversity and Inclusion in Science Educations**. (Ponta Delgada, Portugal, 2007).

BACHELARD, G. **Epistemologia**. Barcelona: Editorial Anagrama, 1973, 254p.

_____. **O Racionalismo Aplicado**. s/ Ed., Rio de Janeiro: Zahar Editoria, 1977, 244p.

_____. **A Filosofia do Não: Filosofia do novo espírito científico.** 5ª ed. Lisboa: Editorial Presença, 1991, 135p.

_____. **A Formação do espírito científico:** contribuição para uma psicanálise do conhecimento. 3ª reimpressão. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996, 316p.

_____. **O Novo Espírito Científico.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2000, 151p.

_____. **Ensaio sobre o conhecimento aproximado.** Rio de Janeiro: Contraponto, 2004, 318p.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo,** Edições 70, Lisboa: 1977.

BARTHOLOMEWS (the Englishman). An Encyclopedist's Description of the Magnet (1220), In: **Source Books in Medieval Sciences**, pp. 367-368. Edward Grant ed., Harvard University Press, Cambridge – Massachusetts: 1974.

BELÉNDEZ, A. La unificación de luz, eletricidad y magnetism: la “sistensis electromagnética” de Maxwell. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, 2601, 2008.

BETON, W. (Ed.), *Encyclopædia Britannica*. (U.S.A.: 1969), v. 2, p. 204.

BIOT, J. B.; SAVART, F. Note sur le magnétisme de la pile de Volta. **Annales de Chimie et de Physique**, v. 15, p. 222-223, 1820. Disponível em: <[http:// www.ampere.cnrs.fr](http://www.ampere.cnrs.fr)>. Acessado em 22/nov/2007.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. *Investigação Qualitativa em Educação.* Uma introdução à teoria e aos métodos. Tradução de M. J. ALVAREZ; S. B. SANTOS; T. M. BAPTISTA. Portugal: Porto Editora, 1994.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Sobre a eletricidade vítrea e resinosa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 635-44, 2007.

CHAIB, J. P. M. C. **Análise do significado e da evolução do conceito de força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica.** 2009. 386f. Tese (Doutorado em Educação) – Instituto de Física “Gleb Wataghin” – Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

Disponível em: <http://webbif.ifi.unicamp.br/teses/apresentacao.php?filename=IF90>

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Sobre os efeitos das correntes elétricas – Tradução comentada da primeira obra de Ampère sobre eletrodinâmica, **Revista da SBHC**, v. 5, n. 1, p. 85-102, 2007a.

CHAIB, J. P. M. C.; ASSIS, A. K. T. Ampère e a origem do magnetismo terrestre. In: **I Simpósio de pesquisa em ensino e história em ciências da Terra**, Campinas, 2007b, Disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/simposioensino/artigos/008.pdf>.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução de Raul Fiker, 1ª. Ed., 4ª. reimpr., São Paulo: Brasiliense, 2000, 225p.

COULOMB, C. A. Construction et usage d'une balance électrique, fondée sur la propriété qu'ont les fils de metal d'avoir une force de torsion proportionnelle à l'angle de torsion. **Mémoires de l'Académie Royale des Sciences**, p. 569-77, 1785.

DAGOGNET, F. **Bachelard**. Tradução de Alberto Campos. Lisboa: Edições 70, 1980, 102p.

ELLIOTT, R. S. The History of Electromagnetics as Hertz Would Have Known It, **IEEE Transactions on microwave theory and techniques**, v. 36, n. 5, pp. 806-823, 1988.

FARADAY, M. Physical Lines of Magnetic Force. In: *A Source Book in Physics*. In: MAGIE, W. F. **A Source Book in Physics**, Nova York: Mc Graw-Hill Book Company, 1935. p. 506-511.

FARADAY, M. Experimental Researches in Electricity (Memoirs by Michael Faraday). In: **Electromagnetism**, v.2, p. 1-35, Arno Press, New York: 1981.

FLICK, U. **Uma introdução a pesquisa qualitativa**, 2ª. Ed., Porto Alegre: Bookman, 2004.

FRANKLIN, B. A letter of Benjamin Franklin to Mr. Peter Collinson, F. R. S. concerning an Electrical Kite, **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 47, p. 565-567, 1752. Disponível em: <<http://www.jstor.org>>. Acessado em 22/nov/2007.

_____. A letter from Mr. Franklin to Mr. Peter Collinson, F.R.S. concerning the Effects of Lightning. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 47, p. 289-91, 1751. Disponível em: <<http://www.jstor.org>>. Acessado em 22/nov/2007.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Difficulties in Learning the Concept of Electric Field. **Science Education**, v. 82, n. 4, p. 511-526, 1998a.

_____. Dificultades de Aprendizaje de los Conceptos de Carga y de Campo Electrico em Estudiantes de Bachillerato y Universidad. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 16, n. 1, p. 131-146, 1998b.

_____. Concepciones Alternativas y Dificultades de Aprendizaje en Electrostatica. Selección de Cuestiones Elaboradas para su Detección y Tratamiento. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 3, p. 441-452, 1999.

GILBERT, W. **De Magnete**. (1600). Translated by P. Fleury Mottelay, Dover Publications Inc., New York: 1958. 368 p.

GRAY, S. A letter to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. containing several experiments concerning electricity. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 37, p. 18-44, 1731.

_____. A letter concerning the Electricity of Water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 37, p. 227-230, 1732.

GUIASOLA, J., ALMUDÍ, J. M.; ZUBIMENDI, J. L. Dificultades de aprendizaje de los Estudiantes universitarios em La teoria Del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza, **Enseñanza de las Ciencias**, v. 21, n. 1, p. 79-94, 2003.

HACHETTE, J. N. P. On the Electro-Magnetic Experiments of MM. Oersted and Ampère, **Philosophical Magazine**. v. 57, n. 273, p. 40-41, 1821. Disponível em: <<http://www.ampere.cnrs.fr>>. Acessado em 22/nov/2007.

HEILBRON, J. L. Robert Symmer and the two electricities. **Isis**. v. 67, n. 1, p. 7-20, 1976.

HENRY, J. **A revolução científica e as origens da ciência moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1998, 149p.

HOME, R. W. **The effluvial theory of electricity**. New York: Arno Press, 1981.

_____. **Electricity and Experimental Physics 18th Century Europe**. Brookfield: Variorum, 1992.

JAPIASSÚ, H. **Para ler Bachelard**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1976, 180p.

KIPNIS, N. Chance in Science: The Discovery of Electromagnetism by H. C. Ørsted; **Science & Education**, v. 14, 2005. p. 1-28.

LALANDE, A. **Vocabulário Técnico e Crítico da Filosofia**. 3^a. ed., São Paulo: Martins Fontes, 1999.

LINDSAY, R. B. Willian Gilbert and Magnetism in 1600. **American Journal of Physics**, v. 8, n. 5: p. 271-282, 1940.

LOPES, A. R. C. Bachelard: O filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 248-273, 1996.

MAGALHÃES, G. Ciências e filosofia da natureza no século XIX: eletromagnetismo, evolução e idéias, In: **Atas do 10º Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia**, Belo Horizonte, 2005. Disponível em CDROM.

MAGNAGHI, C. P.; ASSIS, A. K. T. Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes – Uma tradução comentada do artigo de Volta de 1800 descrevendo sua invenção da pilha elétrica, **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, p. 118-140, 2008.

MARTINS, A. F. P. **Concepções dos estudantes acerca da noção de tempo: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard**. 2004. 218f. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

_____. **Tempo Físico: a construção de um conceito**. Natal: EDUFRN, 2007. 268p.

MARTINS, A. F. P.; PACCA, J. L. A. O conceito de tempo entre estudantes de ensino fundamental e médio: uma análise à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 299-336, 2005.

MARTINS, R. A. Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, 1986. p. 89-114.

_____. Contribuição do conhecimento histórico e o ensino do eletromagnetismo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, p. 49-57, 1988.

_____. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. **Acta Scientiarum**, 21 (4), pp. 823-835, 1999.

MAXWELL, J. C. **A Dinamical Theory of the Electromagnetic Field**. Engene: Wipf and Stock Publishers, 1982.

MOTZ, L.; WEAVER, J. H. **The Story of Physics**. First Avon Books Trade Printing, New York: 1992.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

ØRSTED, H. C., Experiments on the Effect of a Current of Electricity on the Magnetic Needle. **Annals of Philosophy**, v. 16, p. 273-277, 1820. Disponível em: <[http:// www.ampere.cnrs.fr](http://www.ampere.cnrs.fr)>. Acessado em 26/mar/2008.

_____. New Electro-Magnetic Experiments. In: **Selected Scientific Works of Hans Cristian Ørsted**, translated and edited by Karen Jerved, Andrew D. Jackson and Ole Knudsen, 421-424 (Princeton University Press, New Jersey, 1998a).

_____. Thermo-Electricity. In: JELVED, K.; JACKSON, A. D.; KNUDSEN, O. **Selected Scientific Works of Hans Christian Ørsted**. New Jersey: Princeton University Press, 1998b. p. 543-580.

_____. Experiência sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. (Tradução: Roberto Martins). **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, 1986. p. 115-122.

PAIVA, R. C. S. **Gaston Bachelard: a imaginação na ciência, na poética e na sociologia**. 1. Ed. São Paulo: Annablume; FAPESP, 2005.

PEREGRINUS, P. **The letter of Petrus Peregrinus on the magnet**, A.D., Translated by Brothers Arnold, M. Sc., Mc GRAW, New York, 1269.

POSADA, J. M. Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and Their Electric Conduction: Structure and Evolution. **Science Education**, v. 81, n. 4, 1997. p. 445-467.

POSNER, G.J.; STRIKE, K.A.; HEWSON, P.W; GERTZOG, W.A. Accommodation of a Scientific Conception: toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2, 1982. p. 211-227.

ROLLER, D.; ROLLER, D. H. D. The development of the concept of electric charge: electricity from the Greeks to Coulomb. In: CONANT, J. B.; NASH, L. K. (Orgs.). **Harvard Case Histories in Experimental Science**. Cambridge-Massachusetts: Harvard University Press, 1957. cap. 08.

SANTOS, M. E. V. M. **Mudança Conceptual na Sala de Aula: Um desafio Pedagógico Epistemologicamente Fundamentado**. 2ª. ed. Lisboa: Livros Horizonte, 1998. 238 p.

_____. **Que educação?** 1ª. ed. Lisboa: SANTOSEDU, 2005. 138p.

SILVA, C.; PIMENTEL, A. C. A. S. Benjamin Franklin e a história da eletricidade em livros didáticos. In: **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2007, Londrina. Atas do X EPEF. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2006.

SILVA, M. C.; KRAPAS, S. Controvérsia ação a distancia/ação mediada: abordagens didáticas para o ensino da interações físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 471-479, 2007.

SILVEIRA, F. L. A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 219-230, 1996.

SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Os obstáculos epistemológicos dos estudantes do curso de licenciatura em Física ao clássico experimento de Ørsted In: **V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2005, Bauru. Atas do V ENPEC. Bauru: Associação de Pesquisadores em Ensino de Ciências, 2005.

_____. A dialética entre os fenômenos elétricos e magnéticos e o ensino do eletromagnetismo In: **X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2006, Londrina. Atas do X EPEF. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2006.

_____. Sobre as experiências relativas à imantação do ferro e do aço pela ação da corrente voltaica: uma tradução do artigo escrito por François Arago. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, (1603), 2009.

SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L.; CALUZI, J. J. A eletricidade estática: os obstáculos epistemológicos, as concepções espontâneas, o conhecimento científico e a aprendizagem de conceitos. In: **VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2007, Florianópolis. Atas do V ENPEC. Florianópolis: Associação de Pesquisadores em Ensino de Ciências, 2007.

_____. Diferenças e semelhanças entre eletricidade e magnetismo: o diálogo histórico entre o erro e a verdade subsidiando o ensino de Física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI., 2008a, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008a.

_____. Perfil e obstáculo epistemológico na aprendizagem do conceito de ímã. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI., 2008b, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008b.

SOUZA FILHO, M. P.; CHAIB, J. P. M. C.; CALUZI, J. J.; ASSIS A. K. T. Demonstração didática da interação entre correntes elétricas, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 4, n. 29, p. 605-612, 2007.

STAUFFER, R. C. Persistent Errors regarding Ørsted's Discovery of Electromagnetism. **Isis**, v. 44, n. 4, p. 307-310, 1953.

TATON, R. **História geral das ciências**. São Paulo: Difusão Européia do Livro, v. 3, p. 9-117, 1960.

TORONI-REIS, M. P. C. **Metodologia de Pesquisa Científica**. Curitiba: IESDE Brasil S. A., 2007, 136p.

TORRE, S. **Aprender com os erros: o erro como estratégia de mudança**. Porto Alegre: ARTMED, 2007. 240p.

TORT A. C.; CUNHA, M. C.; ASSIS, A. K. T., Uma tradução comentada de um texto de Maxwell sobre a ação a distancia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 3, p. 273-282, 2004.

TRICKER, R. A. R. **Early Electrodynamics – the first law of circulation**, Pergamon Press, Great Britain: 1965.

VOLTA, A. On the electricity excited by the mere Contact of conducting Substances of different Kinds, **Philosophical Transactions**, v. 90, p. 403-431, 1800. Disponível em: <<http://www.ampere.cnrs.fr>>. Acessado em 22/nov/2007.

WATSON, W. **Some further Inquiries into the Nature and Properties of Electricity**; by William Watson F. R. S. **Philosophical Transactions of the Royal Society**. v. 45, p. 93, 1750.

WOLF, A. A History of Science, Technology, and Philosophy in the 18th Century, v. 2, pp. 213-273, England: Thoemmes Press, 1999.

Objetivos do Centro

Promover a alfabetização científica da população em geral, contribuindo para o exercício da cidadania;

Consolidar e ampliar a Faculdade de Ciências como

- um centro de excelência na formação inicial e continuada de professores para o ensino médio e fundamental;

Aprofundar a integração entre a Graduação, a Pós-Graduação da Faculdade de Ciências e os alunos do Ensino Médio e Fundamental da região de Bauru;

Aumentar o interesse das pessoas pelas ciências e tecnologia;

Transmitir informação científica;

Explicar que as ciências e a tecnologia são atividades (em contraposição a um corpo de conhecimentos/fatos);

Explicar como a ciência e a tecnologia afetam a vida das pessoas; Introduzir ao e reforçar o raciocínio científico;

Apresentar os fenômenos científicos;

Encorajar os jovens a seguirem carreiras em ciências e tecnologia;

Divulgar os trabalhos de pesquisas realizadas pela UNESP em todas as áreas do conhecimento;

Preservar a memória da Ciência e do Ensino de Ciências no Estado de São Paulo.



Apêndice A (frente)

FUNDAMENTOS HISTÓRICOS DO ELETROMAGNETISMO

Ações do Centro

O Centro de Divulgação e Memória da Ciência e Tecnologia (CDMCT) está vinculado ao Grupo de Pesquisa em "Educação Científica" da Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Faculdade de Ciências, UNESP, campus Bauru.

O Centro desenvolve ações em Extensão, Ensino e Pesquisa, além de realizar a divulgação científica para a comunidade, para os alunos da Educação Básica e a formação continuada de professores de Educação Básica. Este é o núcleo de extensão, que se articula com o Ensino pela monitoria prestada pelos alunos de graduação, vinculação com as disciplinas específicas e as práticas de ensino dos diversos cursos da Faculdade de Ciências. Os núcleos de extensão e ensino se articulam com a pesquisa por meio da Pós-Graduação e suas linhas de pesquisa.

Modalidade: Curso de extensão

Responsável: Prof. Ms. Moacir Pereira de Souza Filho e Prof. Dr. João José Caluzi

Público-alvo: alunos do curso de licenciatura em Física.

Data: reunião quinzenal às quartas-feiras, das 14:00 h às 17:00 h, durante o ano letivo de 2006.

Carga horária: 60 horas.

Local de inscrição: laboratório didático de Física, com Moacir.

Nº de participantes: 15 alunos.

Ementa do curso:

O curso abordará a primeira fase do eletromagnetismo, ou seja, o período compreendido entre 1820 e 1830. Serão discutidos aspectos históricos e filosóficos da descoberta do eletromagnetismo por Hans Christians Oersted (*1777 †1851). Também estudaremos o embate entre as abordagens teóricas propostas por André-Marie Ampère (*1775 † 1836) e os cientistas Jean Baptiste Biot (*1774 †1862) e Félix Savart (*1791 †1841).

Calendário dos encontros:

1º encontro: 08/03/06	11º encontro: 02/08/06
2º encontro: 22/03/06	12º encontro: 16/08/06
3º encontro: 05/04/06	13º encontro: 30/08/06
4º encontro: 19/04/06	14º encontro: 13/09/06
5º encontro: 03/05/06	15º encontro: 27/09/06
6º encontro: 17/05/06	16º encontro: 11/10/06
7º encontro: 31/05/06	17º encontro: 25/10/06
8º encontro: 14/06/06	18º encontro: 08/11/06
9º encontro: 28/06/06	19º encontro: 22/11/06
10º encontro: 12/07/06	20º encontro: 06/12/06

Apêndice A – (verso)



Apêndice B

CURSO: FUNDAMENTOS HISTÓRICOS DO ELETROMAGNETISMO

FICHA DE INSCRIÇÃO Nº _____

Nome: _____ RG. _____

RA: _____ Termo: _____ e-mail _____

Por favor, escreva suas expectativas em relação aos encontros.

Declaro estar ciente que o curso faz parte de um trabalho de doutorado e autorizo a utilização do material escrito e de eventuais filmagens apenas com a finalidade de pesquisa, desde que minha identidade seja preservada.

Assinatura do aluno

APÊNDICE C
CRONOGRAMA DO CURSO

Dia	Conteúdo abordado
22 / 03	Apresentação do curso e seminário inaugural
05 / 04	Peter Peregrinus – Source books (<i>transcrição 1</i>)
24 / 04	William Gilbert – Source books (<i>transcrição 2</i>)
03 / 05	Gray e Du Fay (trabalho do Serginho)
17 / 05	Benjamin Franklin – Source books e trabalho do Serginho (<i>transcrição 3</i>)
31 / 05	Alexandro Volta – Source books e artigo R. Martins
14 / 06	Síntese da parte “A” – Questionário e discussões (<i>transcrição 4</i>)
28 / 06	Artigo Oersted – trad. R. Martins (<i>transcrição 5</i>)
09 / 08	Oersted – Descoberta do Eletromagnetismo (artigo R. Martins)
23 / 08	Oersted – Problema da quebra de simetria (artigo R. Martins – Cad. Catarinense)
13 / 09	Dissertação de Ampère – Tricker (<i>transcrição 6</i>)
11 / 10	Filosofia de Ampère – Tricker
25 / 10	Biot / Savart e Arago – Source books
08 / 11	Faraday – Corrente Induzidas – Source books
20 / 11	Faraday – Evolução da eletricidade a partir do magnetismo – S. books
22 / 11	Faraday – Linhas Físicas de Força Magnética – S. books
27 / 11	Maxwell – Sobre a ação a distância (artigo A. K. T. Assis)
29 / 11	Maxwell – Teoria eletrodinâmica do campo eletromagnético – S. Books
01 / 11	Vídeo sobre Maxwell – Universo Mecânico
06 / 12	Síntese Final – Discussões e questionário



Certificado

(Apêndice D)

Certifico que **Fulano de Tal** participou do curso “Fundamentos Históricos sobre o Eletromagnetismo”, registro nº 1675 – Proex, realizado no ano letivo de 2006, no total de 60 horas, com 100% de frequência.

Bauru, 03 de outubro de 2007.

Prof. Dr. Henrique Luiz Monteiro
Diretor da Faculdade de Ciências

Prof. Dr. João José Caluzi
Coordenador da Atividade de Extensão



Apêndice E

CURSO: FUNDAMENTOS HISTÓRICOS DO ELETROMAGNETISMO

Nome: _____

Na sua opinião existe relação entre fenômenos elétricos e fenômenos magnéticos?
Argumente sua resposta defendendo seu ponto de vista.

Obrigado pela participação!!!

Apêndice F

CURSO: FUNDAMENTOS HISTÓRICOS SOBRE O ELETROMAGNETISMO

Questionário 1

Em sua opinião existe relação entre fenômenos elétricos e fenômenos magnéticos? Argumente sua resposta defendendo seu ponto de vista

ADR

Sim, pois a maneira em que se dá a interação elétrica e magnética são praticamente semelhantes: ambas têm a ação à distância, podem surgir forças atrativas ou repulsivas de acordo com a situação (na eletricidade e no magnetismo).

Forças elétricas interagem com forças magnéticas (quando a corrente elétrica percorre um fio que está próximo a uma bússola, esta tem sua posição modificada). Ambas têm suas causas no mundo microscópico.

ALI

Se poderia perguntar também se existe relação entre fenômenos magnéticos, elétricos, gravitacionais e talvez mais categorias. Talvez se detectassem hoje ou existissem teorias alternativas em relação à linha corrente da Física.

Grosso modo, esses fenômenos estão relacionados com campos (ou) forças que são gerados pelas partículas e, no fim, as fazem interagir entre si - não consigo (seja lá por que).

Talvez se possa identificar um campo como diferente de outro se identificarmos fontes diferentes para cada um deles, assim podendo distinguir fenômenos elétricos como relacionados às cargas e fenômenos magnéticos como relacionados ao fluido magnético dos materiais.

No entanto, se acharmos uma relação entre as fontes dos campos, poderemos entrelaçar os conceitos de ambos e provavelmente unificar os fenômenos, como os experimentos de Faraday evidenciaram e as interpretações de Maxwell solidificaram a indistinção entre os fenômenos magnéticos e elétricos.

Portanto, com evidência histórica-experimental e teórica, concluo que há uma relação entre fenômenos elétricos e magnéticos.

AND

Acredito que são independentes, pois podemos ter fenômenos elétricos não relacionados a magnéticos e vice-versa.

Alguns exemplos:

- Ao ligarmos uma lâmpada incandescente, não existe nenhum fenômeno magnético, já que a luz é gerada pela resistência;
- Para escutarmos discos em uma vitrola elétrica, teremos apenas fenômenos elétricos;
- Um simples ímã atrai objetos metálicos através de seu magnetismo;
- Até mesmo se utilizarmos uma caneta, esfregando-a aos cabelos conseguimos atrair pequenos pedaços de papel, sem nenhuma utilização de energia;

Agora existem fenômenos onde estão presentes ambos, como um ímã eletromagnético, técnicas avançadas em medicina, microondas.

NET

Primeiramente seria conveniente definir fenômenos elétricos e fenômenos magnéticos. Vou basear esta definição preliminar na observação macroscópica através da qual frequentemente classificamos tais fenômenos:

Após esfregarmos uma caneta no cabelo, ao aproximarmos esta caneta de pedacinhos de papéis atraímos estes. Neste caso pensamos que atrito provoca uma transferência de cargas entre as cargas positivas e negativas que compõem a matéria de que é formada. Deste modo, visando alcançar o equilíbrio de cargas novamente a caneta atrai os pedacinhos de papel (neutros eletricamente). Tal fenômeno seria um fenômeno elétrico.

No entanto, ao atritarmos um ímã permanente numa agulha, ao aproximarmos tal agulha de pedacinhos de limalhas de ferro, tal agulha também atrai a limalha. Neste caso pensamos que ao esfregarmos o ímã estaríamos alinhando ditos “domínios” numa direção preferencial e acabamos por classificar tal fenômeno, como magnético.

Então ficamos na mesma, será que fenômenos magnéticos e elétricos são distinguidos somente pela forma que encaramos estes fenômenos?

Vamos pensar num problema mais geral. Eu poderia definir um fenômeno magnético através do fato de que seus campos sempre são fechados como se não houvesse uma origem, nem um fim para as linhas de campo. Não existem monopólos magnéticos. Fenômenos elétricos possuem campos com origem ou fim (dependendo da carga considerada), mas afinal, O QUE SÃO CAMPOS? Distorção do éter? Propagação de uma memória do espaço que indica a existência de partícula?

Desta forma não chegaremos a lugar algum, vamos ser mais simples: Fenômeno elétrico: cargas (seja lá o que isso signifique!) de duas características + ou -. Fenômeno magnético: aquele provocado pelo ímã.

Cargas paradas não interagem com ímãs: um corpo carregado não arrasta o ímã (e vice-versa). Logo parece que não há relação entre os fenômenos. Porém, basta passarmos uma corrente elétrica num fio para observarmos a deflexão da agulha de uma bússola (ímã). Então há relação!!!

Mas se o meu ímã se mover na mesma direção e velocidade que minha carga, há interação? Teoricamente não.

Vamos resumir: na minha opinião há sim relação entre fenômenos magnéticos e elétricos, no entanto não compreendo como a movimentação (oscilação) de um campo elétrico possa interferir com o campo magnético. Será que isso tem alguma coisa a ver com uma espécie de efeito doopler?

Vou parar por aqui, desculpe a letra...

CAR

Sinceramente, eu não sei: Na verdade, às vezes penso que sim, outras que não. Eu sempre escutei os professores falando que cargas elétricas geram campos elétricos ou fenômenos; mas eu nunca consegui entender campo magnético. O problema é que eu não consigo diferenciar a natureza dos fenômenos. Porque parece que ambos os fenômenos (elétricos e magnéticos) são alguma força oculta de um corpo. Ma o porque alguns geram forças elétricas e outras magnéticas. Eu não faço idéia. Como minhas dúvidas são muitas, nesse momento, eu não me sinto capaz de diferenciar esses fenômenos.

DAN

Partindo de minha compreensão do que é um fenômeno elétrico e do que é um fenômeno magnético digo que há uma relação entre os dois fenômenos, já que o que eu entendo como fenômeno elétrico é o fato de certas partículas, quando estáticas, terem a propriedade de atrair ou repelir outras partículas, em outras palavras, produz uma força em partículas que possuem a mesma propriedade (propriedade de originar o mesmo fenômeno) quando estão na região ao seu redor e, como fenômeno magnético entendo que é a mesma coisa, mas é definido para partículas em movimento.

Entretanto fiquei confuso, quando o professor exemplificou com o caso do dipolo magnético, já que não significa que as partículas portadoras de carga opostas estejam em movimento.

EDE

Na minha opinião a relação entre o que se pode dizer fenômenos elétricos e o que se pode dizer fenômenos magnéticos existe, considerando que compreendo esta relação por ser associável a interação entre estes fenômenos.

Ressaltando que me refiro aos fenômenos eletrodinâmicos interagindo com algum fenômeno magnético e fenômenos magnéticos na forma dinâmica interagindo com fenômenos elétricos.

Entretanto, há traço de dúvida. Será que estou considerando a característica correta do fenômeno? E com base mais fundamental será que os fenômenos elétricos e os fenômenos magnéticos por mim conhecidos estão devidamente classificados pelos critérios por mim adotados e conhecidos, ou então pela própria natureza do fenômeno? Ainda é necessária uma complementação dos meus conhecimentos para uma melhor argumentação

FÁB

Sim, existe uma relação. A base desta informação é devido a interação de uma com a outra. Uma bobina (solenóide) produz campo magnético quando se passa corrente elétrica. E o mesmo ocorre quando um campo magnético oscila, produzindo uma corrente alternada. O que acontece realmente, a explicação para estes fenômenos eu não sei, e nem sei se existe esta explicação, porém experimentos provam que existe a interação e logo existe relação entre estas.

As aplicações destas interações nos fornecem a energia elétrica que consumimos, e esta relação se mostra importante e ao mesmo tempo intrigante. Utilizamos algo que mal podemos explicar. Dizem que o movimento circular que o elétron faz é o causador do magnetismo, porém novamente reafirmo que existe a relação porque ela é um fato, algo empírico, mas inexplicável.

LUC

Sabe-se que cargas elétricas geram campos elétricos e que quando cargas elétricas se movem, um campo magnético é gerado. Com base nisso, pode-se dizer que existe uma relação entre fenômenos elétricos e magnéticos e que esses fenômenos são conhecidos com “Eletromagnetismo”.

Entretanto, afirmar essa relação ainda não é possível com o grau de conhecimento que possuo. No ensino médio e no curso de Física Geral IV, estudaram-se apenas fenômenos estáticos e a se julgar pela geração do campo magnético por movimentação de cargas elétrica, supõe-se que seriam necessários conhecimentos de Eletrodinâmica para explicar com sustentação teórica a relação entre eletricidade e magnetismo ou a falta desta relação.

MAR

Sim. Um dos argumentos para essa resposta é o fato de que a matéria é constituída por átomos (independente de entendermos exatamente como este o é), e o fato de que conseguimos fazer com que uma barra metálica, a qual é percorrida por uma corrente elétrica, interaja com um ímã colocado em sua vizinhança.

Entende-se que um átomo é composto por entes que possuem como propriedade uma quantidade denominada carga elétrica. Assim, a movimentação destes entes pela barra metálica confere a mesma uma capacidade de influenciar um ímã.

MÁR

Penso que em situações cotidianas, é muito difícil classificar um fenômeno qualquer, seja ele elétrico ou magnético, se que se tenha alguma noção prévia, proveniente de estudos sobre tais assuntos. Minha opinião me diz que sim: HÁ TAL RELAÇÃO!

A reação de uma bússola próxima de um fio transpassado por uma corrente contínua, por exemplo, é evidência disso. Mas pressupomos que a bússola é instrumento que evidencia fenômenos magnéticos e que a corrente no fio é fenômeno elétrico. Mas, tomando ainda esta situação vimos o fenômeno elétrico causar efeito na bússola. Não percebemos o efeito da bússola sobre a corrente! Logo, esta experiência sugere, como é realizada, uma unilateralidade na relação!

Concluo, portanto, que minha opinião não foi formada por mim, mas foi inserida na minha mente.

NEL

No meu ponto de vista, essa relação pode existir, mas não necessariamente deve acontecer para que esses fenômenos existam.

O que quero dizer é que esses fenômenos podem existir de maneira independente, como também podem se relacionar de forma a interagirem, ou até mesmo de geração de um outro tipo de fenômeno.

Um material que possui propriedades magnéticas continuará a possuir tais características independentemente se um resolver ligar a lâmpada incandescente do meu quarto, ou ligar o chuveiro, ou produzir qualquer outro fenômeno elétrico de forma isolada. Da mesma forma que vários fenômenos elétricos ocorrem a todo sem a necessidade da presença dos fenômenos magnéticos.

Entretanto, é sabido que ambos são fenômenos muito intimamente ligados, de maneira muito importante. Essa relação de que agora falo é a de interagirem de uma forma de um gerar o outro ou se combinarem para criarem outros fenômenos. A geração de energia elétrica através dos movimentos das turbinas dos geradores das hidrelétricas e no outro extremo o movimento do eixo de um motor elétrico.

SAL

Na minha opinião, existe, pois é visível (observável) a relação entre um campo magnético e um campo elétrico, como por exemplo, em usinas de geração de energia (gerador C.A.), o dínamo (gerador C.C.). Um outro exemplo que vejo cabível é o efeito visto em tubos de TV (T.R.C.) imediatamente após a ocorrência de um raio (descarga atmosférica), claro, que esse efeito depende da distância, ou seja, há uma descarga elétrica próxima a TV, mas não há uma “corrente elétrica” entre o raio e a TV. Também observo em solenóides (eletroímãs), a transformação de energia elétrica em mecânica, o mesmo ocorre em alto-falante, campainhas, etc.

SÉR

Acredito que de alguma forma os fenômenos podem estar relacionados. Apesar de não possuir uma distinção conceitual clara de um e outro.

Fundamento o meu “achar que sim” no experimento de Oersted em que a passagem da corrente elétrica no fio metálico ocasionava a movimentação da agulha da bússola quando esta era posicionada de forma apropriada. Baseado nisto penso que de alguma forma os fenômenos elétricos e magnéticos estejam relacionados. Porém, não consigo abstrair como essa relação poderia se dar, tudo fica muito nebuloso sem ao menos entender os fenômenos.

VIT

Existem sim uma relação entre fenômenos elétricos e fenômenos magnéticos, pois fenômenos magnéticos podem ser gerado a partir, por exemplo, de uma corrente elétrica passando por um condutor, do mesmo modo que um ímã em movimento pode gerar uma corrente elétrica. Outro exemplo dessa relação seria um atuador constituído por uma bobina e uma haste metálica no centro, em que ao ser percorrida por uma corrente elétrica, a bobina gera um campo eletro-magnético e causa na haste metálica um efeito magnético, no caso a atração para o centro da bobina.

WAG

Eu acredito que exista relação entre fenômenos elétricos e magnéticos, pois tomando um exemplo simples, uma bússola, temos que, em locais isolados a bússola irá sofrer interferência. Já se nós criarmos um campo elétrico, através de uma corrente e aproximarmos a mesma bússola, esta também irá sofrer interferência.

Pessoalmente, nunca prestei atenção em outros fenômenos para poder formar melhor minha opinião, mas mesmo com o exemplo dado acima não tenho certeza sobre essa relação.

Apêndice G

TIPO DE RELAÇÃO ENTRE OS FENÔMENOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS (1/4)

<i>Aluno</i>	<i>Não menciona</i>	<i>Um fenômeno existe independente do outro</i>	<i>Um fenômeno interage com o outro</i>	<i>Um fenômeno é capaz de gerar o outro</i>	<i>Estão relacionados entre si através dos fenômenos eletromagnéticos</i>
ADR			X		
ALI				X	X
AND		X			X
NET		X	X		X
CAR	X				
DAN		X			
EDE			X		
FAB				X	
LUC				X	
MAR			X		
MÁR			X		
NEL		X		X	
SAL	X				
SER			X		
VIT				X	
WAG			X		
Total	12,5%	25%	44%	31%	19%

Apêndice G

PERFIL APRESENTADO PELOS ALUNOS (2/4)

<i>Aluno</i>	<i>Não apresentou perfil definido</i>	<i>Senso comum (observação dos fenômenos)</i>	<i>Empirismo (por meio de experimentos)</i>	<i>Racionalismo (Causa no mundo microscópico)</i>
ADR				X
ALI				X
AND		X		
NET		X	X	X
CAR	X			
DAN	X			
EDE	X			
FAB		X	X	X
LUC				X
MAR				X
MÁR			X	
NEL		X		
SAL		X		
SER			X	
VIT			X	
WAG			X	
Total	19%	31%	37,5%	37,5%

Apêndice G

TIPO DE AÇÃO ENTRE OS FENÔMENOS (3/4)

<i>Aluno</i>	<i>Ação à distância</i>	<i>Idéia de campo</i>	<i>Não faz menção ao tipo de interação</i>
ADR	X		
ALI	X	X	
AND			X
NET	X	X	
CAR		X	
DAN			X
EDE			X
FAB		X	
LUC		X	
MAR			X
MÁR	X		
NEL			X
SAL			X
SER			X
VIT		X	
WAG		X	
Total	25%	44%	44%

Apêndice G

QUANTO A INTERAÇÃO E AO CONHECIMENTO DO ALUNO (4/4)

<i>Aluno</i>	<i>Afirma categoricamente</i>	<i>Acredita que sim, e não questiona seu conhecimento</i>	<i>Acredita que sim, mas questiona seu próprio conhecimento</i>	<i>Não soube opinar</i>
ADR	X			
ALI			X	
AND		X		
NET			X	
CAR				X
DAN			X	
EDE			X	
FAB			X	
LUC			X	
MAR	X			
MÁR			X	
NEL		X		
SAL		X		
SER			X	
VIT		X		
WAG			X	
Total	12,5%	25%	56%	6,5%

Apêndice H1

CURSO: FUNDAMENTOS HISTÓRICOS DO ELETROMAGNETISMO

Nome: _____

1) Leia as afirmações a seguir e responda:

- *Com um pente atritado é possível atrair pedacinhos de papel, entretanto um fio conectado aos terminais de uma pilha não atrai estes mesmos pedaços de papel. (MARTINS, 1999).*
- *Vimos que, um gerador eletrostático (van der graff) ligado atrai para si um fio condutor colocado em suas proximidades, e que a corrente elétrica que passa por ele não interage com este gerador.*

Você considera idêntica a eletricidade produzida por uma pilha (*fluido galvânico*) e a produzida por atrito (*cargas elétricas*)? Como você explica estas diferenças?

2) *Os pólos magnéticos podem ser encontrados em diversas magnetitas, eles podem ser fortes e poderosos (macho, como o termo usado na antiguidade) ou fracos (fêmea);...*

O pólo de uma pedra tem a maior força de atração que parte da outra pedra que responde a ele (a adversária como é chamada); e.g. o pólo Norte de uma tem maior força de atração, tem maior vigor ao puxar, a parte sul da outra, então ele atrai o ferro mais poderosamente e o ferro gruda a ele mais firmemente, sendo previamente magnetizado ou não (GILBERT, IN: A Source Book in Physics, 1935).

Você considera que o pólo norte tem maior poder de atração que o pólo sul. Porque?

3) *No ano de 1729, eu comuniquei... ..que a Virtude Elétrica de um tubo de vidro pode ser transmitida para outros corpos, dando a eles a mesma propriedade de atração e repulsão de corpos leves, como o tubo faz quando excitado por atrito, e que esta virtude pode ser levada para corpos que estão a muitos Pés de distância do tubo. (FRANKLIN, Carta a Peter Collinson, 1751).*

Este trecho de Stephen Gray trata da condução da eletricidade. Na sua opinião, por qual motivo não conseguimos conduzir “o fluido” magnético.

4) *Assim em muitas áreas pessoas que alegam uma causa aos méritos os quais eles não podem desvendar, advogam propriedades ocultas a magnetita e ao âmbar. Mas tudo isto, gera apreensão, eles são ignorantes que as causas do movimento da magnetita são bem diferentes daquelas que dão ao âmbar suas propriedades, conseqüentemente eles facilmente cometem erros, e pela suas próprias idéias se distanciam da verdadeira propriedade (GILBERT, IN: A Source Book in Physics, 1935).*

Sua bússola perdeu a virtude da loadstone, ou os pólos se inverteram, o ponto norte tornou-se sul. Pela eletricidade nós temos aqui, freqüentemente polarizado as agulhas, e invertido-as com facilidade. O Sr. Wilson conseguiu com uma pequena força. Um choque de quatro grandes garrafas de vidro (Leyden), envia a uma fina agulha dando a ela polaridade, e ela irá se orientar quando colocada na água (FRANKLIN, Carta a Cromwell Mortimer).

O primeiro trecho discorre sobre as diferenças entre os fenômenos elétricos e magnéticos. O segundo trecho evidencia que um fenômeno elétrico é capaz de produzir o magnetismo. Baseado nisto, qual é a sua opinião. Argumente.

Obrigado pela participação !!!



Apêndice H2

CURSO: FUNDAMENTOS HISTÓRICOS DO ELETROMAGNETISMO

Nome: _____

1. O que você considera responsável por criar um campo magnético ao redor do ímã?
O que você considera responsável por criar um campo magnético ao redor de um fio condutor?
O que estas coisas têm em comum?

2. Diferencie estas duas situações:

- No experimento de Oersted, ao se conectar a bateria ao fio condutor, a agulha da bússola se desloca perpendicular ao fio e ali permanece até que o circuito seja interrompido, voltando então, a sua posição inicial.
- No experimento de Faraday, ao conectar a bateria no enrolamento primário a agulha do galvanômetro ligado ao secundário se desloca para um dos lados e instantaneamente volta a sua posição inicial, e ali permanece indiferente a circulação de corrente (indicando uma corrente nula no secundário), só se deslocando para o lado oposto ao se interromper o circuito.

3. Pode existir um campo elétrico sem um campo magnético? E o último sem o primeiro? Explique.

Obrigado pela participação!!!

Apêndice H3

CURSO: FUNDAMENTOS HISTÓRICOS DO ELETROMAGNETISMO

“O conflito elétrico apenas atua sobre as partículas magnéticas da matéria” / “o conflito elétrico não está confinado ao fio condutor, mas está amplamente disperso no espaço circunjacente a ele” / “esse conflito age por rotações” **OERSTED**

“Eu descobri que duas correntes elétricas se atraem mutuamente quando elas fluem na mesma direção e repelem-se em sentidos opostos”

“fenômenos magnéticos são devido somente a eletricidade e, não existe diferença entre os dois pólos de um imã, a não ser considerar o sentido das correntes as quais o imã é composto”

“Guiado pela filosofia Newtoniana, eu reduzi o fenômeno observado pelo Sr. Oersted, como um fenômeno natural similar, para forças atuando ao longo da linha reta que une as duas partículas entre os quais a ação é exercida; e se eu estabeleci que, da mesma maneira, o mesmo movimento de eletricidade que existe no condutor, está presente também rodeando as partículas dos imãs, é certamente para não explicar suas ações pelo impulso como um vórtice” “a ação da corrente com efeito mensurável, é a soma das ações infinitesimais dos elementos, a soma que pode somente ser obtida por duas integrações sucessivas”. **AMPÈRE**

“Por este método, os Srs. Biot e Savart foram conduzidos ao seguinte resultado, que expressa cuidadosamente as ações exercidas sobre uma molécula de magnetismo austral e boreal quando colocada a uma distância de um fio cilíndrico fino de comprimento indefinido tornado magnético pela corrente voltaica”. **BIOT E SAVART**

“Estas visões teóricas sugeriu a ele (Ampère) imediatamente a idéia de que deve-se obter uma forte magnetização ao substituir pelo fio condutor reto que eu utilizei, por um fio enrolado em hélice, no interior do qual um tarugo de aço é colocado; ele esperava que nós obteríamos de alguma forma a posição constante dos pólos”.

“Sr. Arago relatou verbalmente os resultados de alguns experimentos que ele fez sobre uma influência que os metais e diversas outras substâncias exercem sobre uma agulha magnetizada, do qual o efeito diminui rapidamente a amplitude de oscilações sem mudar sensivelmente seus períodos”. **ARAGO**

“As polaridades, ou região norte e sul de um imã não estão apenas relacionadas uma com a outra, através ou internamente ao próprio imã, mas também estão relacionadas externamente à polaridades opostas, ou elas não poderiam existir”.

“Um imã não pode ser encontrado tendo apenas um magnetismo, ou ainda uma menor ou maior região norte ou sul sobre a outra. Quando polaridades de um imã não são relacionadas externamente às forças de outros imãs, elas estão relacionadas mutuamente: i.e. a região norte e sul de um imã isolado é externamente dependente e sustentada pela outra”.

“Agora todos estes fatos, e muitos outros, apontam para existência de linhas físicas de forças externas os imãs e também internas.” “...as polaridades devem estar relacionadas uma a outra externamente por linhas curvas de forças; porque nenhuma linha reta pode ao mesmo tempo tocar em dois pontos tendo a região norte e sul”.

“O que este estado é, ou o que ele depende, não pode ainda ser declarado. Pode depender o éter, como um raio de luz depende, e uma relação tem já sido mostrada entre luz e magnetismo. Pode depender de um estado de tensão, ou um estado de vibração, ou talvez algum outro estado análogo a corrente elétrica, no qual a força magnética está tão intimamente relacionada”. **FARADAY**

“O fenômeno mais óbvio em experimentos elétricos e magnéticos é a ação mútua pela qual corpos em certos estados estabelecem mutuamente em movimento enquanto ainda à uma sensível distância um do outro. O primeiro passo, contudo, é reduzir estes fenômenos na forma científica, para verificar a magnitude e direção da força atuando entre os corpos, e quando ela é encontrada esta força depende de certa forma, da posição relativa dos corpos e das suas condições elétricas e magnéticas (*sem nenhuma consideração ao meio ao redor*), parece ao primeiro sinal natural explicar os fatos ao assumir a existência de alguma coisa parada ou em movimento em cada corpo, constituindo o seu estado elétrico ou magnético capaz de atuar à distância de acordo à leis matemáticas.

“A teoria que eu proponho pode, portanto, ser chamada uma *Teoria do Campo Eletromagnético* porque ela tem a ver com o espaço na vizinhança dos corpos elétricos e magnéticos, e pode ser chamada uma *Teoria Dinâmica*, porque assume que naquele espaço existe matéria em movimento”.

“Parece, contudo, que certos fenômenos em eletricidade e magnetismo conduzem à mesma conclusão que aquela da óptica, a saber, que existem um meio anti-éter permeando todos os corpos, e modifica apenas no grau por sua presença; aquelas partes deste meio são capazes de serem colocadas em movimento por corrente elétricas e ímãs; que este movimento é comunicado de uma parte do meio à outra, por forças originado das conexões destas partes; que sobre a ação destas forças existem uma certa *flexibilidade* dependendo da *elasticidade* destas conexões; e que portanto, a energia nas duas formas podem existir no meio, uma forma sendo a *energia atual* de movimentos destas partes, e a outra sendo a *energia potencial* estocada nas conexões, em virtude de sua elasticidade”.

“à medida que a intensidade aumenta novas linhas são geradas dentro dos ímãs ou correntes, e gradualmente crescem em direção ao exterior, de maneira que todo o sistema se expande de dentro para fora”.

“Aqui então, temos a explicação para a tendência que as linhas de força magnética têm de espalharem-se lateralmente ao mesmo tempo em que ficam mais curtas. Esta tendência nasce da força centrífuga dos vórtices moleculares”.

“medidas eletromagnéticas foram realizadas e a partir delas podemos calcular com princípios dinâmicos a velocidade de propagação de pequenas perturbações magnéticas neste meio magnético hipotético”.

“O único tipo de perturbação eletromagnética que pode propagar-se em um meio não condutor, é uma perturbação transversal à direção de propagação, o que está de acordo com o que sabemos sobre a perturbação da luz”. “A velocidade de propagação v , expressam os números de unidades eletrostáticas de eletricidade que estão contidas em uma unidade eletromagnética. Esta velocidade é muito próxima aquela da luz, que parece temos forte razões para concluir que a própria luz (incluindo calor radiante, e outras radiações) é um distúrbio eletromagnético na forma de ondas propagadas através do campo eletromagnético de acordo com as leis eletromagnéticas”.

“Até onde sabemos, a luz pode também ser uma perturbação eletromagnética em um meio não condutor”.

“Mas se os meios luminíferos e eletromagnéticos ocupam o mesmo lugar e transmitem perturbações com a mesma velocidade, que razão nós temos para distinguir um meio do outro?”. **MAXWELL.**

Apêndice I1 – resposta módulo 1

SID

- 1) Não. Apesar de se tratar de fenômenos elétricos, o fluído galvânico pode ser entendido como o movimento de cargas dentro de um condutor, ao passo que a eletricidade produzida por atrito há uma “transferência” de cargas entre os corpos, e estas cargas permanecem estáticas.
- 2) Se esta pergunta me fosse feita no início do curso, eu responderia não! Mas agora, já foi “comprovado” que um pólo tem maior força de atração que o outro.
- 3) Na eletricidade, temos as cargas elétricas e podemos provocar uma diferença de potencial entre os corpos envolvidos. No magnetismo, as linhas de campo saem de um pólo e chegam ao outro, não havendo possibilidade de criação de uma “d.d.p.” magnética.
- 4) No primeiro texto, há referência ao magnetismo e a eletricidade e a confusão gerada no início dos estudos da área. Gilbert deixa bem claro que a magnetita e o âmbar apesar de atraírem objetos, isto se dá por processos diferentes. Entendo que as observações do segundo texto, sejam quase uma antecipação daquilo que Faraday posteriormente demonstrou através de experimentos que a corrente elétrica gera um campo magnético e que um campo magnético gera uma corrente elétrica.

VIT

- 1) Ao se atritarmos o pente, induzimos nele uma eletricidade estática, enquanto que, um fio conectado aos terminais de uma pilha nós também temos eletricidade, porém sem o efeito de atração, ou seja, as duas eletricidades são idênticas, porém causam efeitos não tão idênticos assim, no caso citado a diferença entre as cargas do pente e dos pedaços de papel é suficiente para que haja atração, enquanto no fio ligado a pilha não há formação de dipolo, por isso o fio não atrai os pedaços de papel.
- 2) Se considerarmos um ímã ideal, ou seja, livre de possíveis impurezas ou materiais indesejados, eu não considero que o pólo norte tenha maior poder de atração, pois as linhas magnéticas de força são as mesmas em ambos os lados.
- 3) Um objeto que esteja colocado a uma distância que esteja no alcance das linhas de força do ímã, não será induzido, adquirindo alguma ação do ímã?
- 4) Em minha opinião, fenômenos elétricos são capazes de produzir fenômenos magnéticos e, vice-versa, pois uma corrente elétrica pode polarizar um material, dando a ele características de um ímã, enquanto um ímã também pode induzir uma corrente elétrica em um condutor. Sendo assim, fica claro que existe uma relação direta entre esses dois tipos de energia.

THI

- 1) Os dois tipos são diferentes, pois em um pente atritado a energia atuante sobre as cargas é a energia eletrostática, onde você possui cargas estáticas criando assim uma diferença de potencial eletrostática, onde não há movimento contínuo de cargas elétricas. Já na pilha existe uma diferença de potencial entre os pólos, e ao curto-circuitar os pólos na pilha com o fio, cria-se um fluxo de corrente elétrica diferente da “ddp” eletrostática, pois as cargas estão em movimento contínuo e constante.

- 2) Em uma única pedra existe uma mesma quantidade de força entre o pólo norte e o pólo sul, porém contrárias. Somente poderá existir uma diferença de força entre pólos de pedras diferentes.
- 3) Não é possível conduzir o campo magnético por se tratar de um fenômeno decorrente do movimento orientado de cargas elétricas.
- 4) Através do fenômeno elétrico é possível gerar um campo magnético, pois o movimento dos “entes” elétricos tornam esse campo permanente, mesmo após cessar o fenômeno elétrico.

NET

1) Como poderíamos afirmar que a pilha e o atrito possuem a mesma essência? Vamos primeiramente pensar por que consideraríamos os dois fenômenos como originados pela mesma “coisa”. A pilha parece “funcionar” somente quando seus terminais são conectados, isto faz sentido, uma vez que só deste modo colocamos em contato os dois materiais de potenciais diferentes (cada metal possui uma característica intrínseca de reter mais ou menos o elétron no seu interior (função trabalho). Quando encostarmos tais metais, os elétrons (portadores de carga) se movem num determinado sentido. Quando ligamos a pilha aos terminais de um capacitor, por certo tempo, e depois curto-circuitamos os terminais do capacitor percebemos a descarga: uma faísca parecida com o que é observado ao chegarmos perto do gerador de van der graaf com certo objeto aterrado. Aí está a semelhança. No “fiscamento”, no entanto é importante salientar que o que “fiscou” no caso da pilha foi o capacitor e não a própria pilha. Ao que parece há o “fiscamento” quando depois de isoladas as cargas de sinais diferentes elas se atraem ao ponto de conseguirem quebrar a propriedade dielétrica do meio no qual estão imersas. A pilha não é o “ente” que separa as cargas é o “ente” que dá o “empurrão” sobre elas. Ela gera uma diferença de potencial. Dentro da pilha, as cargas não se encontram separadas. Fora da pilha, só há um fluxo de cargas ao se fechar o circuito. No caso do atrito parece que ao se esfregar os materiais acabamos de alguma forma separando as cargas, de maneira semelhante ao que ocorre dentro do capacitor quando ele é ligado à pilha, e em seguida desligado.

Ao fluir cargas elétricas pelo fio sem a ação de um gerador eletrostático, não há uma concentração de cargas em determinadas regiões do fio.

Se ligarmos o gerador eletrostático e ele efetuar uma força muito intensa sobre o fio, seria plausível pensar que a corrente diminuiria um pouco, uma vez que os elétrons seriam atraídos e desviados para a superfície do fio. Suponho que este fato não foi observado devido à grande diferença entre o campo elétrico devido à “ddp” no fio e no gerador eletrostático. Também o fio não deveria “desgrudar” do gerador ao se passar a corrente, pois da mesma forma que o gerador repele (ou atrai) os elétrons do fio, os elétrons estariam ao mesmo tempo atraindo (ou repelindo) os íons positivos do metal, e teríamos uma corrente estacionária no fio. Portanto, o balanço de cargas numa secção transversal do fio não se alteraria.

2) Aparentemente sim, num experimento feito no grupo vimos que muitas vezes um dos pólos exerce uma força maior em materiais metálicos do que o outro [pólo]. Percebemos que as limalhas de ferro ficam mais concentradas freqüentemente sobre um dos pólos, tal fato pode se deve às imperfeições do imã, partes não homogênea, com defeitos gerais. Suponho que saem do material algumas linhas de forças que devem ser a mesma quantidade daquelas

[linhas] que entram nele, não havendo o porquê existir diferenças de força entre o pólo sul ou norte.

3) Isto é um indício de que propriedades magnéticas não devem existir devido à uma propriedade intrínseca da matéria (como a carga elétrica). Elas devem ser uma consequência destas propriedades (movimentos de cargas).

4) Na matéria há uma propriedade intrínseca: a carga. Tal carga tem a ela associada um campo elétrico, ou seja, tal carga promove uma “força a distância” sobre a outra carga, que é algo intrínseco à carga. Deste princípio, nascem os fenômenos elétricos. Agora, ao fazer esta carga se deslocar, ela acaba provocando outro fenômeno. Ela passa a produzir um campo dito magnético que é fechado em si mesmo, sem origem e fim, numa direção perpendicular ao deslocamento da carga, tal fato, gera os então chamados fenômenos magnéticos (claro que estou respondendo tomando uma concepção clássica do fenômeno. Existem outras variáveis muito importantes relacionadas ao magnetismo). Deste modo, há uma interpretação para os fenômenos, pois através de um fenômeno acabamos por produzir o outro.

ALI

1) Não possuo embasamento suficiente para afirmar com veemência uma das posições. Talvez, mesmo com um maior embasamento eu não poderia defender impetuosamente um dos lados, pois a ciência está em eterna construção e não se consegue provar categoricamente se uma de suas premissas é absolutamente correta. Já que é impossível fazer um experimento que revele estas inconsistências, mas ainda sim, com um repertório maior, seria possível ir ao caminho do mais provável. Porém, posso afirmar que se um dos fenômenos pode se transformar no outro, eles são essencialmente os mesmos; e como o fluido galvânico é essencialmente dinâmico, é razoável supor que a velocidade e o fluxo contínuo de cargas elétricas seja a moeda de câmbio entre um e outro – eletricidade estática e galvanismo. Para verificação dessa evidência, sugiro realizar um experimento tendo como efeito uma série de descargas de garrafas de Leiden (eletricidade estática) sincronizadas no tempo em intervalos “descasados” formando um fluxo contínuo e, compará-lo com os fenômenos que possuem a pilha como protagonista.

2) No texto citado, tenho quase certeza que Gilbert se referia à diferença entre os pólos de uma pedra em relação a outra pedra. Mas, mesmo se isso não fosse verdade, eu sugeriria experimentos com os mais diversos tipos de magnetitas para ter certeza absoluta que é uma propriedade extrínseca do material e não uma propriedade intrínseca da matéria. Teoricamente, penso ser impossível haver um desequilíbrio de forças de tal magnitude. Portanto, parece razoável que a forças dos pólos da magnetita sejam de mesmo módulo, a fim de atingir o equilíbrio.

3) Em relação à corrente magnética, talvez seja razoável que ela não exista pelo fato dos pólos de um ímã serem opostos e, por isso, eles prenderiam o fluido magnético num “circulo vicioso”. A não ser que exista monopólo magnético, talvez seria possível colocá-lo em movimento sem alterar as propriedades que o caracterizam, mas aí não seria uma magnetita, logo, não seria o mesmo fenômeno.

4) Minha opinião é de que se um fenômeno induz o surgimento de outro no mínimo eles possuem uma forte ligação. Essa interação não havia sido descoberta na época do Gilbert, o que descaracteriza todo argumento exibido no primeiro trecho da questão. Logo, é possível inferir se existe uma ligação entre os dois fenômenos e até verificá-la experimentalmente.

MAR

- 1) A eletricidade produzida pelo atrito que produz cargas elétricas difere daquela produzida por uma pilha (fluido galvânico) por estarem estáticas, ou se movimentarem pouco em relação à sua configuração. O fluido galvânico é constituído também por cargas elétricas, mas estas se movimentam orientadas em um dado sentido.
- 2) Da experimentação feita num dos encontros, observei que realmente numa pedra de magnética (ímã) um dos pólos possui uma força maior de atração sobre objetos do que o outro pólo, mas penso que dizer que o pólo norte possui mais força que o pólo sul é um equívoco, visto que este pólo possui sua força aumentada devido à constituição e o processo de formação do material, isto porque o campo magnético gerado por um ímã depende fortemente das condições as quais o ímã foi submetido (tratamento térmico, presença de outros ímãs).
- 3) O “fluido magnético” não pode ser transportado pelo fato de que este é uma consequência da movimentação de cargas, ou seja, ele não existe por conta própria.
- 4) Pelo que eu observei até os dias atuais, tantos nas aulas de laboratório quanto em fatos cotidianos, acredito que de fato há um intercâmbio entre manifestações elétricas e magnéticas, e que, ao menos para mim, não há um por que destas duas manifestações não estarem relacionadas.

SÉR

- 1) Não, são fenômenos elétricos distintos. A eletricidade produzida por uma pilha é um tipo de fenômeno elétrico em que as cargas elétricas estão em movimento (eletrodinâmica), há uma corrente elétrica. A eletricidade produzida por meio do atrito é um fenômeno elétrico em que as cargas permanecem paradas (eletrostática). Ambas as formas de eletricidade têm envolvidas a carga elétrica, no entanto, as cargas apresentam comportamentos cinéticos distintos.
- 2) Eu não acredito que o pólo norte possua maior poder de atração do que o pólo sul, apesar de os experimentos realizados no Curso de História da Ciência dar indícios disso. Os fenômenos magnéticos estão relacionados com o alinhamento dos momentos de dipolo magnético dos materiais, e não vi ainda na literatura algo que afirme que esse alinhamento favoreça o “poder” de atração do pólo norte.
- 3) Esta é uma boa pergunta! A hipótese que tenho é porque na eletricidade há movimento de cargas, e nos fenômenos magnéticos não há um movimento equivalente. Nos experimentos de Gray, a eletricidade era transmitida, muito provavelmente, por meio de deslocamento de cargas, tendo em vista o potencial elétrico que o tubo de vidro atingia (falo isso com base nos outros experimentos realizados por Gray). Já os fenômenos magnéticos ocorrem apenas por alinhamento dos momentos de dipolo magnético, e o campo magnético tem um limite espacial para esses alinhamentos, pois é possível, por hipótese, dizer que a partir de certa distância o campo magnético “*não consegue*”⁸⁰ alinhar os momentos de dipolo magnético seguintes do material. Por exemplo: pegamos uma barra de ferro, em uma das pontas dessa barra colocamos um ímã, o campo magnético desse ímã vai alinhar os momentos de dipolo magnético da barra até uma distância “x” do ímã, a partir daí não há mais alinhamento. Se

⁸⁰ Utilizo aqui o termo “*não consegue*” por falta de outra expressão, não estou atribuindo ao campo magnético propriedades animistas ou antropomórficas!

colocarmos na ponta dessa barra de ferro um tubo de vidro eletrizado igual ao que o Gray utilizou, a diferença de potencial entre as duas extremidades da barra, devido ao potencial a que o vidro está submetido, fará com que exista movimento dos elétrons livres na barra, e assim sendo há transmissão da eletricidade do tubo. O mesmo ocorre com o barbante semelhante ao utilizado pelo Gray.

Resumindo, a eletricidade é transmitida porque existem cargas elétricas que se movimentam, o magnetismo não é transmitido porque não existem “*cargas magnéticas*”⁸¹ que se movimentam.

4) Concorde com Gilbert quando ele diz que a causa do movimento da magnetita é bem diferente do âmbar, já que o primeiro se deve a um campo magnético e o segundo a um campo elétrico, e estes são fenômenos distintos. No entanto, também concordo com Franklin, pois a partir de um fenômeno elétrico, por exemplo, a corrente elétrica, é possível gerar campo magnético; e a partir de um fenômeno magnético, por exemplo, com a variação temporal do fluxo de campo magnético, é possível gerar campo elétrico. Desta forma, penso que ambas as afirmações estão coerentes.

⁸¹ Ou qualquer coisa que o valha.

Apêndice I2 – resposta módulo 2

ALI

- 1) O movimento angular dos elétrons.
2) O movimento retilíneo dos elétrons.
3) O movimento dos elétrons, mesmo que quanticamente não faça sentido dizer em trajetória, o comportamento é este.
2. Na primeira situação, segundo a teoria vigente, é uma corrente contínua que gera um campo magnético e que interagem com a bússola de forma contínua. Na segunda situação, é a variação de fluxo de campo magnético que “gera” a corrente elétrica.
3. Pelas equações de Maxwell.

AND

- 1) 1) Partículas girando que são responsáveis pelas linhas de campo.
2) Movimento das cargas elétricas.
3) Movimento dos elétrons.
2. 1) Enquanto houver corrente elétrica, ela permanentemente gera o campo magnético.
2) O campo magnético é gerado apenas quando o circuito é ligado ou desligado.
3. Um não existirá sem o outro, se nós considerarmos que dentro do ímã existem micro-correntes.

MAR

1. a) Considerando as observações feitas, creio a origem deste campo magnético deve ser uma espécie de corrente elétrica permanente e interna ao material que compõe o ímã.
b) A passagem de uma corrente elétrica pelo fio.
c) A presença de uma corrente elétrica é comum.
2. No experimento de Oersted o alinhamento da bússola é devido à presença de um magnético produzido a partir da passagem da corrente elétrica. Este campo, não muda sua polaridade devido ao fato de a corrente também não mudar de sentido.
No experimento de Faraday a agulha do galvanômetro movimenta-se apenas quando diminui ou aumenta a intensidade da corrente elétrica, provocando uma variação na intensidade do campo magnético que ela produz; a variação deste campo magnético provoca o surgimento de um “ddp” na bobina secundária; esta “ddp” dura enquanto houver a variação do campo magnético.
3. Sim, um campo elétrico surge a partir de uma “ddp” existente entre dois pontos no espaço, e esta “ddp” pode não ser obtida necessariamente por meio de um campo magnético. Já um campo magnético é produzido necessariamente a partir de um campo elétrico conforme mostram os experimentos (a corrente se constitui a partir de uma “ddp”, o que implica na existência de um campo elétrico).

NEL

1. - Em nível atômico partículas em vibração ou movimento no interior do ímã.
- No fio condutor temos a presença de uma corrente elétrica que são cargas em movimento.
- Presença de cargas em movimento.

2. Na primeira situação temos a presença de um campo magnético constante ao redor do fio garantindo a sustentação da agulha. No experimento de Faraday existe a interação entre correntes pelas bobinas, onde o primário só irá induzir corrente no secundário se houver alternância no campo magnético (ligar e desligar).

3. Sim, pois campo magnético é uma característica de cargas em movimento. Você pode ter uma carga puntual estacionária sem a presença de um campo magnético. Mas pode-se produzir um [campo] por meio do outro.

SÉR

1. 1) O momento de dipolo magnético.
2) A variação da corrente elétrica no tempo.
3) A geração dos campos magnéticos.
2. São duas situações distintas. No experimento de Oersted, ao conectar a bateria ao fio condutor surge um campo magnético no entorno do fio, campo este que é responsável pela deflexão da agulha magnética da bússola. No experimento de Faraday, a situação é outra, ao conectar a bateria ao enrolamento primário, este gera, durante um pequeno intervalo tempo, um campo magnético variável, que é responsável pela indução de corrente elétrica no enrolamento secundário. Este campo magnético variável ocorre devido à variação de corrente elétrica no enrolamento primário, pois ao ligar a bateria, a corrente vai de zero até um determinado valor constante, e é devido a esta variação que há a geração de um campo magnético variável. Quando se desliga a bateria há uma situação inversa, pois a corrente que tinha um determinado valor constante vai para zero, nesta variação da corrente elétrica é gerado um campo magnético responsável por uma nova indução de corrente no enrolamento secundário e consequentemente uma nova deflexão na agulha do galvanômetro. Assim, só há geração de corrente elétrica no enrolamento secundário quando há variação da corrente elétrica no primário, e desta forma a agulha do galvanômetro só se movimenta quando um campo magnético variável surge. No experimento de Oersted, a agulha da bússola se movimenta com a corrente constante no fio, e por isto são situações distintas.
3. Campo elétrico e campo magnético são fenômenos independentes, portanto a existência de um não depende [da existência] do outro, por exemplo, uma carga elétrica parada apresenta um campo elétrico e não campo magnético, já que um ímã parado apresenta apenas campo magnético e não elétrico.

VIT

1. - Em um ímã, as micro-cargas em movimento em seu interior que gera o campo magnético.
- A corrente elétrica que flui através de um condutor gera ao redor do mesmo, um campo magnético
- Em ambas as situações existem o movimento elétrico.
2. No primeiro experimento o campo elétrico gera um campo permanente, enquanto que no experimento de Faraday, a indução de corrente elétrica ocorre apenas com a variação do campo magnético.
3. Em ambos os casos, um não existirá sem o outro, pois não existe um campo elétrico sem campo magnético. Em um ímã existirá micro correntes responsáveis pelo campo magnético.

Apêndice J1 – Ficha síntese – módulo 1

	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4
ALI	Não. Cargas estáticas/dinâmicas O aluno propõe uma verificação experimental descarregando garrafas de Leiden sincronizadas a fim de produzir a eletricidade dinâmica	Sim, para pedras distintas. Teoricamente é impossível	Não existe deslocamento, pois os pólos estão presos uns aos outros. Se houvesse monopólo magnético, talvez fosse possível conduzi-lo	Na época de Gilbert isso não havia sido descoberto. Um fenômeno induz o outro (experimentalmente)
MAR	Diferentes. Cargas estáticas/dinâmicas	A experimentação diz que sim, mas é um equívoco, pois está relacionado ao processo de formação do material (térmico, substancial)	Não pode ser transportado porque ele é consequência do movimento de cargas. Não existe por conta própria	Sim, estão relacionados. Pela observação (laboratório, fatos cotidianos)
NET	Mesma essência (elétron) Separação de cargas (capacitor) Empurrão de cargas (pilha) “Faísca” Trecho interessante sobre “gerador” *	Sim. Limalhas mais concentradas em determinadas regiões (imperfeições) Linhas que saem = linhas que chegam	As propriedades magnéticas existem devido a carga elétrica, ela é uma consequência do movimento de cargas	Matéria → carga → campo elétrico A carga ao ser mover pelo fio produz campo magnético fechado e perpendicular
SER	Distintos. Cargas estática/dinâmicas Comportamentos cinéticos distintos	Não Apesar dos indícios, estes fenômenos estão relacionados com o alinhamento dos momentos de dipolo magnético dos materiais	Eleticidade → deslocamento de cargas Magnetismo → alinhamento dos momentos de dipolo magnéticos O ímã consegue alinhar os momentos até certa distância.	Diferentes e semelhantes -causas diferentes -um é possível gerar o outro
SID	Não. Cargas estáticas/dinâmicas	Sim. Foi comprovado experimentalmente	Não há possibilidade da criação de uma ddp magnética.	São semelhantes. Um é capaz de gerar o outro
THI	Não. Cargas estáticas - ddp eletrostática Fluxo de corrente - ddp entre os pólos	Não. Somente entre pedras diferentes	Não. Movimento orientado de cargas	Fenômenos elétricos é capaz de gerar campo magnético. “entes” – campo magnético
VIT	Causas idênticas/efeitos distintos Cargas estáticas – ddp Dinâmica – não há formação de dipolos	Não. Para um ímã ideal (livre de impurezas) as linhas de forças são proporcionais	Se o objeto estiver no alcance das linhas não haverá “indução”?	Existe relação. Fenômenos elétricos são capazes de produzir fenômenos magnéticos.

Apêndice J2 – Ficha síntese – módulo 2

	Questão 1	Questão 2	Questão 3
ALI	- Movimento angular dos elétrons - Movimento retilíneo dos elétrons - Movimento dos elétrons, mesmo que quantitativamente não faça sentido falar em trajetória	- Corrente contínua gera um campo que interage com a bússola. - Variação do fluxo gera uma corrente contínua	Pelas equações de Maxwell.
AND	- Partículas girando - Movimento de cargas - Movimento dos elétrons	- Enquanto houver corrente será gerado um campo ao redor do fio - O campo magnético é gerado quando o circuito é ligado/desligado	Um não existirá sem o outro se considerarmos que no interior do ímã existem micro-correntes
MAR	Considerando as “observações” Uma espécie de correntes elétricas internas ao material	Corrente elétrica – o campo não muda sua “polaridade” porque a corrente não muda de sentido. Quando aumenta ou diminui a intensidade da corrente produz uma variação do campo	Campo elétrico → ddp DDP não necessariamente através do campo magnético Campo magnético necessariamente (conforme experimentos)
NEL	Nível atômico – partículas em vibração Corrente elétrica (cargas em movimento) Presença de cargas em movimento	Presença de um campo constante Interação entre correntes – o primário só irá induzir correntes se houver alternância do campo magnético (liga/desliga) Situações distintas - Campo elétrico do fio responsável alinhamento da bússola. - Corrente variável no primário → corrente induzida no secundário → deslocamento momentâneo da agulha do galvanômetro	Sim - Campo magnético – cargas em movimento - Carga estacionária – sem a presença de um campo magnético. Um pode gerar o outro.
SER	- Momento de dipolo magnético - Variação da corrente no tempo - Geração dos campos magnéticos	- Campo elétrico do fio responsável alinhamento da bússola. - Corrente variável no primário → corrente induzida no secundário → deslocamento momentâneo da agulha do galvanômetro	São independentes - Carga parada – campo elétrico - Ímã parado – campo magnético
VIT	- Ímã – micro-cargas em movimento - corrente – campo magnético - movimento elétrico (elétrons)	- Campo elétrico gera um campo [magnético] permanente - Variação do campo magnético induz corrente	Um não existirá sem o outro Num ímã existirão micro-correntes responsáveis pelo campo magnético

Apêndice K

PERFIL APRESENTADO PELOS ALUNOS

<i>Aluno</i>	<i>Senso comum (observação dos fenômenos)</i>		<i>Empirismo (por meio de experimentos)</i>	<i>Racionalismo (Causa no mundo microscópico)</i>	
ALI**	-	-	Q1.1,Q1.2,Q1.4	Q1.1,Q1.2,Q1.3	Q2.1, Q2.3
AND-*	-	-	-	-	Q2.1,Q2.3
NET*-	Q1.1	-	Q1.2	Q1.1,Q1.2,Q1.3, Q1.4	Q2.3
MAR**	Q1.4	Q2.1	Q1.2	Q1.1,Q1.2,Q1.3	Q2.1,Q2.3
NEL-*	-	-	-	-	Q2.1,Q2.3
SER**	-	-	Q1.2,Q1.4	Q1.1,Q1.2,Q1.3	Q2.3
SID*-	-	-	Q1.2,Q1.3,Q1.4	Q1.1	-
VIT**	-	-	Q1.1,Q1.3,Q1.4	Q1.1,Q1.2	Q2.1,Q2.3
THI*-	-	-	Q1.1,Q1.4	Q1.1,Q1.2,Q1.3	Q2.1
Total	02	01	15	19	13

APÊNDICE L – Fotos de algumas atividades práticas realizadas.

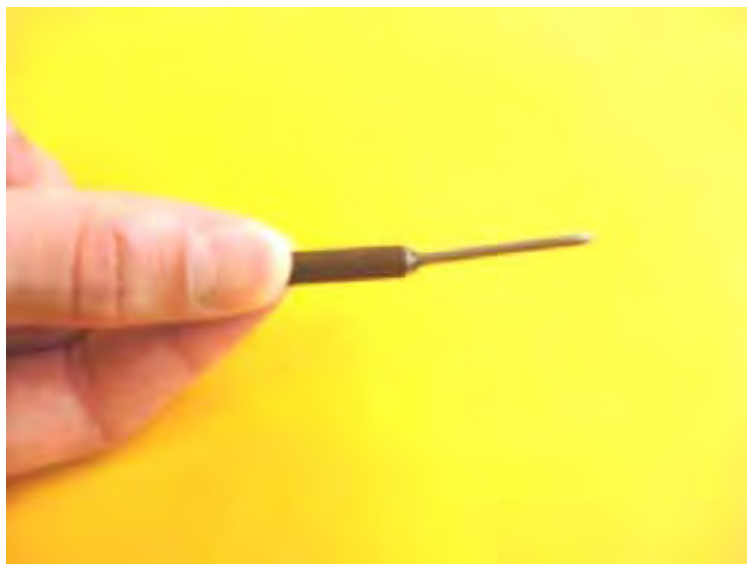


Figura 1 – Material ferromagnético se tornando um ímã temporário

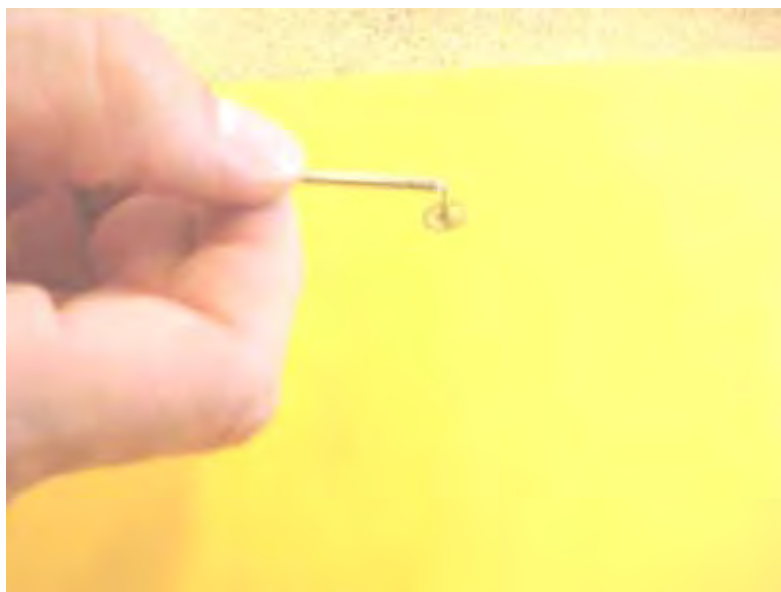


Figura 2 – Prego magnetizado

APÊNDICE L – Fotos de algumas atividades práticas realizadas.



Figura 3 – Ímãs se repelindo (pólo iguais)



Figura 4 – Verificando a força de atração dos pólos de um ímã

APÊNDICE L – Fotos de algumas atividades práticas realizadas.



Figura 5 – Atração eletrostática



Figura 6 – A eletricidade dinâmica não atrai objetos não magnetizáveis

APÊNDICE L – Fotos de algumas atividades práticas realizadas.



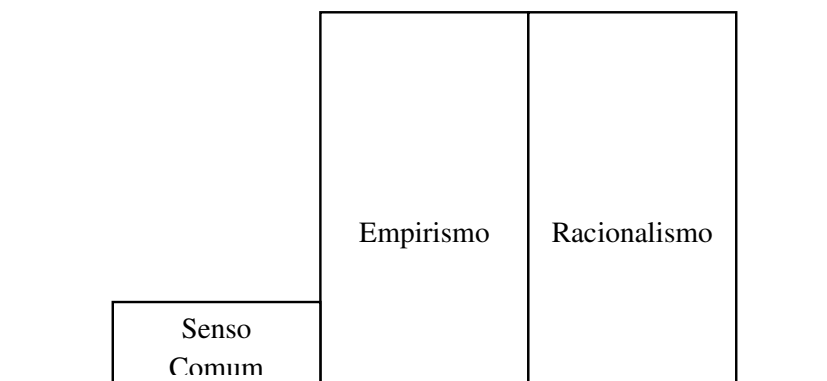
Figura 7 – Gerador eletrostático atraindo um fio condutor



Figura 8 – Objeto metálico sendo atraído a uma “certa” distância

Apêndice M
Perfil epistemológico esboçado pelos próprios alunos

NEL

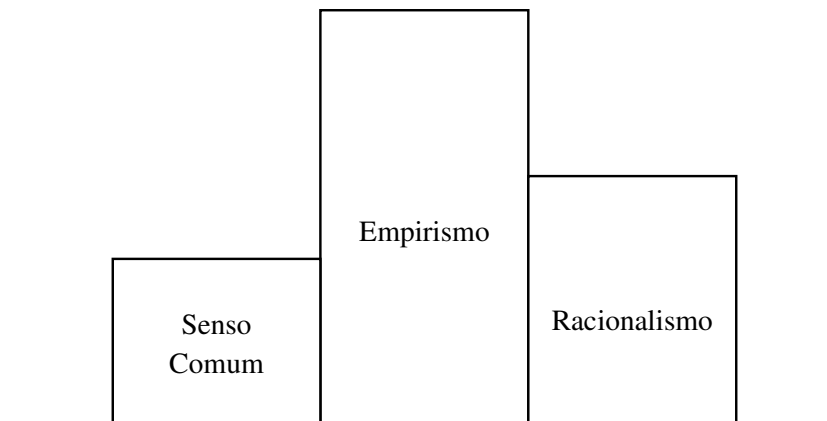


Senso comum = 10%

Empirismo = 45%

Racionalismo = 45%

VIT



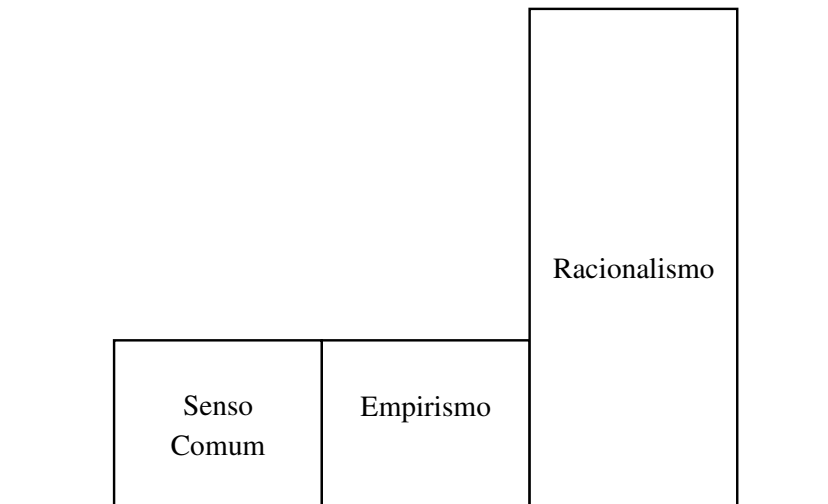
Senso comum = 20%

Empirismo = 50%

Racionalismo = 30%

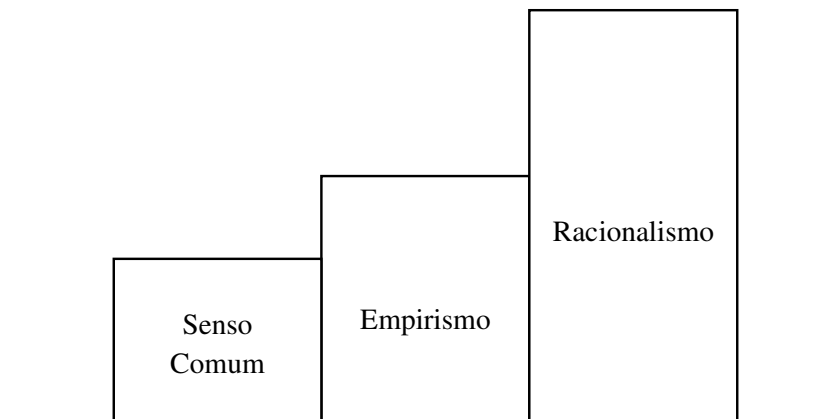
Apêndice M
Perfil epistemológico esboçado pelos próprios alunos

MAR



Senso comum = 20%
Empirismo = 20%
Racionalismo = 60%

SER



Senso comum = 20%
Empirismo = 30%
Racionalismo = 50%