

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA

**MICHAEL FARADAY: SUBSÍDIOS PARA METODOLOGIA DE
TRABALHO EXPERIMENTAL**

VALÉRIA SILVA DIAS

Orientador: Prof. Dr. Alberto Villani
Co-orientador: Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins

Dissertação apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dra. Lizete Maria Orquiza de Carvalho (UNESP)

Prof. Dr. João Zanetic (USP)

Prof. Dr. Roberto de Andrade Martins (UNICAMP)

SÃO PAULO

2004

Para meu pai e minha mãe,
que me ensinaram a lutar pelo que eu queria.

Para Marco, meu marido,
que luta ao meu lado.

Meus sinceros agradecimentos

Aos Profs. Drs. Alberto Villani e Roberto de Andrade Martins,
por acreditarem e orientarem esse trabalho.

Aos Profs. Drs. João Zanetic, Lizete Maria O. de Carvalho e Maurício Pietrocola,
por participarem das bancas de qualificação e/ou defesa.

A Dora, Mariza, Beth, Nora, Verônica, Luís Augusto, Maísa, Célia, Juarez e Cibelle,
por todas as críticas e sugestões a esse trabalho.

A Ailton, Ivanilda, Mônica, Cristina, Sandra, Neusa, Elifas, Soraya, Wilson, Renata,
Marcos, Ricardo, Giuliano, Wolney, Ulisses, João e todos os amigos do IFUSP,
pelo apoio e pela partilha de muitos bons momentos.

A Ana Maria Rossi e Kênia,
amigas que sempre estiveram dispostas a me ouvir.

À Capes e à Fapesp, pelo apoio financeiro.

À minha família: pais, irmãos, cunhados e sobrinhos,
por valorizarem o meu trabalho.

A Marco,
pela paciência e pelo amor.

Finalmente, mas imensamente,
aos alunos e professores do curso de Física Experimental VI,
realizado no 1.º semestre de 2002 no IFUSP,
pela acolhida e adesão a esse projeto.

Obrigada.

RESUMO

DIAS, V. S. **Michael Faraday: subsídios para metodologia de trabalho experimental**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física, USP, São Paulo, 2003.

Esta pesquisa enfoca a metodologia das práticas experimentais realizadas nos laboratórios de Física do Ensino Superior, tendo o olhar subsidiado pela História da Ciência, através do trabalho experimental produzido por Michael Faraday. Como fonte de dados, tomamos os cadernos de laboratório de Faraday contendo relatos de suas investigações experimentais sobre eletromagnetismo, do período de 1820 a 1831, e acompanhamos os trabalhos desenvolvidos pelos estudantes do curso Física Experimental VI – Laboratório de Estrutura da Matéria e Física Moderna, oferecido a alunos de graduação da Universidade de São Paulo, no primeiro semestre do ano 2002. Através das duas fontes, a bibliografia primária de Faraday que foi preservada e o exercício etnográfico realizado no laboratório, coletamos dados que analisamos a partir da construção de três eixos: cuidado experimental, registro da atividade e relação professor/aluno. Para análise dos dados utilizamos alguns conceitos do referencial psicanalítico lacaniano, que nos ajudaram na compreensão do processo de constituição do sujeito, e o referencial da psicanálise do conhecimento bachelardiano; estes referenciais orientaram nosso entendimento do processo de construção do conhecimento científico, iluminados pela experiência de Faraday e a experiência vivida pelos alunos. Nossos resultados sugerem que a história do trabalho experimental de Michael Faraday e, particularmente, sua relação com seu mentor intelectual (Humphry Davy), podem fornecer elementos que permitem compreender alguns aspectos da relação estabelecida pelos alunos com os professores de laboratório. Além disso, com o conceito da Transposição Didática pudemos desvelar algumas das transformações que os saberes sofrem desde sua construção no âmbito da pesquisa científica até sua aplicação no laboratório didático. O que nos chamou atenção e que consideramos deva ser modificado na formação de professores e pesquisadores, foi a descaracterização da atividade experimental de uma relação que incorpora o espírito científico para uma prática reprodutivista e comprovatória.

Palavras-chave: Michael Faraday, laboratório didático, Transposição Didática, psicanálise.

ABSTRACT

DIAS, V. S. Michael Faraday: contributions to the methodology of experimental practice.
Master thesis – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

The main focus of this research is the methodology of experimental practices as carried on in the university physics laboratory. The approach used here made use of History of Science, through the experimental work produced by Michael Faraday. The sources of data were Faraday's laboratory notebooks, containing the report of his experimental inquiries on electromagnetism in the period between 1820 and 1831; and the works developed by students of Experimental Physics VI – Laboratory of Structure of Matter and Modern Physics, at the Universidade de São Paulo, during the first semester of 2002. From the two sources the primary bibliography of Faraday which was conserved, and the ethnographic exercise carried at the laboratory we collected information for analysis following three axes: experimental care, register of the activity and relationship between teacher and student. To analyze the data we used some concepts of the Lacanian psychoanalytic frame, that helped us to understand the process of constitution of subject, and the frame provided by the Bachelardian psychoanalysis of knowledge, that guided our understanding of the process of construction of the scientific knowledge, illuminated by Faraday's experience and the experience lived by the students. Our results suggest that the history of the experimental work of Michael Faraday and, particularly, his relation with his intellectual mentor (Humphry Davy), can supply elements that allow us to understand some aspects of the relationship established between the students and the laboratory teachers. Moreover, through the concept of Didactic Transposition we could discover some transformations that knowledge suffers since its construction in the scope of scientific research until its application in the didactical physics laboratory. What called our attention (and we consider it must be changed in teacher education) was the disfigurement of the experimental activity, from a relation that incorporates the scientific spirit to a reproduction and confirmation practice.

Key-words: Michael Faraday, didactical laboratory, Didactic Transposition, psychoanalysis.

INTRODUÇÃO

Durante o primeiro semestre de 2003, participei da disciplina Construção e Realidade, oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Nesta oportunidade, fui convidada a fazer um exercício que revelasse lembranças da minha vida escolar onde tivesse deixado de aprender algo devido ao medo. O texto abaixo é parte de minha resposta.

Uma coisa que eu sempre acho que me faz falta não ter aprendido é mexer no tal do osciloscópio. Puxa, no primeiro laboratório em que ele apareceu foi péssimo. Até o nome do desgraçado era difícil.

No meu grupo existiam quatro pessoas, duas meninas (as únicas da turma) e dois meninos. Teoricamente, todos deveriam aprender a mexer no equipamento; porém, na prática as duas meninas se sentiam isentas desse tipo de responsabilidade – o machismo lhes é superconveniente em alguns momentos – e, por sorte, um dos meninos era técnico em eletrônica, manjava muito de osciloscópio – pelo menos era isso que a gente dizia para ele visando convencê-lo a fazer o trabalho – deu certo. Passei por aquele laboratório, e por todos os outros, sem nunca ter precisado operar o monstro. E sem nunca ter aprendido também.

Teve uma vez que uma colega de turma convidou um grupo para aprender a usar o osciloscópio. Ela estava fazendo iniciação científica e o orientador dela, sabendo que ela sempre tinha se esquivado da tarefa, resolveu dar-lhe uma aula específica. Para não ir sozinha, a garota convidou alguns amigos, e lá fui eu para a aula sobre o uso do osciloscópio. Não mudou nada. O professor até que era atencioso, mas aquele monte de botões continuou sem sentido. Meio que amparada pela desculpa de ter ido lá só para dar uma força, consegui sair da aula sem nem ao menos ter colocado a mão no “bicho”.

Claro que a sensação de impotência, de não saber, sempre me acompanhou durante os laboratórios posteriores, porém, nada que não fosse suportável ou que me levasse definitivamente a encarar o desafio.

Ainda não aprendi a usar o osciloscópio. Tive uma última oportunidade (última no sentido da última vez que estive diante de um) num curso de pós-graduação e os resultados não foram muito bons. Embora reconheça com alegria que, ao menos, eu utilizei o aparelho com a ajuda de um colega que ia passando as instruções. Acho que estou, aos poucos, vencendo o medo de não saber como fazê-lo.

Acredito que esse é o grande passo: me permitir viver a experiência. Talvez passando por ela eu possa aprender a utilizar um osciloscópio. Quem sabe em mais uma dúzia de oportunidades...

Essas palavras revelam minha inquietação com a experiência vivida enquanto aluna nos laboratórios de Física e com a grande probabilidade de muitos outros estudantes poderem dizer que vivenciaram e vivenciam situações similares a essa. Ou seja, passar por várias disciplinas experimentais na universidade e sair delas sem saber utilizar a aparelhagem disponível para realização das experiências.

Essa realidade levou-nos a procurar entender melhor a função das atividades experimentais no curso de Física e como elas poderiam ser desenvolvidas para atingir os objetivos educacionais almejados. O que realmente se deseja com os vários cursos experimentais propostos para os alunos dos cursos de Física? Testar os conceitos trabalhados nos cursos teóricos? Aprender a escrever um relatório e/ou um artigo? Conhecer como se faz física experimental? Será que aprender a manipular os equipamentos é um saber que se deseja ser adquirido pelos alunos ao final de um curso de laboratório didático? Não basta tirar os dados, fazer os relatórios e estudar para a prova?

Com certeza, durante todos os cursos de laboratório pelos quais eu passei, nunca houve clareza sobre as pretensões da disciplina. Entender melhor como esses elementos se desenvolvem faz-se importante à medida que cada vez mais as atividades práticas são valorizadas e ditas essenciais no ensino de ciências, principalmente nas diretrizes curriculares para o Ensino Médio. Como só podemos colocar em prática aquilo que sabemos praticar, faz-se necessário olhar para a formação desse futuro professor de Ciências e ver em que medida tem experimentado as atividades práticas e em que medida está apto para levá-las a cabo em sua prática docente.

Nesta procura surgiu a idéia de buscar na história da ciência uma situação onde a atividade experimental estivesse bem representada e bem documentada. Assim decidimos estudar profundamente o trabalho de Michael Faraday, com o qual tínhamos tido um contato anterior na Iniciação Científica, por ser ele considerado um dos maiores pesquisadores experimentais da história da ciência, figura fundamental no desenvolvimento do eletromagnetismo no século XIX, e devido a grande parte do material produzido por ele estar conservado e disponível à pesquisa.

Do estudo do trabalho de Faraday destacamos alguns indícios de fatores que pareciam ter sido cruciais para o desenvolvimento bem sucedido de sua atividade experimental. De posse desses indícios, fomos para o laboratório didático pesquisar se neste ambiente os fatores importantes no trabalho de Faraday também eram considerados significativos no trabalho dos alunos. No entanto, a observação do laboratório nos revelou um outro fator que parecia ser crucial para o sucesso da atividade experimental dos alunos dentro do laboratório. Como anteriormente tínhamos entrado no laboratório com nosso olhar parametrizado pelo trabalho de Faraday, vimos a necessidade de percorrer o caminho inverso, voltar ao trabalho de Faraday com nosso olhar dirigido para o novo aspecto suscitado pela observação realizada no laboratório didático.

Dessa forma, nossa pesquisa percorreu um caminho que foi da história da ciência ao laboratório didático, com idas e vindas entre esses dois lugares. Tentaremos preservar a trajetória percorrida de forma que o leitor possa acompanhar o desenvolvimento e os movimentos que realizamos durante a pesquisa.

Primeiro conhecemos a experiência de um cientista experimental bem sucedido e reconhecemos pontos que foram importantes na sua prática experimental, principalmente quanto ao registro das atividades e os cuidados ao lidar com as montagens experimentais. Depois entramos no laboratório didático e verificamos que esses fatores, que consideramos terem contribuído para o sucesso de Faraday como pesquisador experimental, não estavam tão presentes na prática dos alunos; porém, outro fator se apresentava como primordial e estava ligado à relação estabelecida entre os alunos e seus professores. Voltando à documentação histórica, verificamos que esse novo fator também aparecia documentado no trabalho experimental de Faraday e buscamos explorar quais suas possíveis influências sobre ele.

Nossa aposta foi que a metodologia experimental desenvolvida por Faraday poderia ser analisada paralelamente à metodologia empregada por alunos de Física nos cursos de laboratório, através da exploração de analogias, guardando as devidas particularidades de cada contexto. Afinal, não poderíamos fazer uma transposição direta entre a experimentação desenvolvida por um pesquisador e aquela que os alunos de graduação desenvolvem nos laboratórios didáticos.

Para nos ajudar com essa análise utilizamos o conceito de Transposição Didática, difundido por Chevallard, que trata do processo de transformação que sofre um saber desde a pesquisa até o ensino, passando por três esferas: do saber sábio (produzido no contexto da pesquisa científica), ao saber a ensinar (retratado nos livros-textos e outros manuais), ao saber ensinado (que se revela no contexto da sala de aula).

Utilizamos-nos ainda do referencial bachelardiano, cuja psicanálise do conhecimento nos auxiliou no tratamento de alguns aspectos fundamentais da experimentação: a exploração dos erros e os estágios do pensamento científico; também do referencial psicanalista lacaniano, com alguns conceitos que nos ajudaram a entender aspectos fundamentais da relação dos professores com seus alunos de laboratório; e do conceito de “experiência” utilizado por Bondiá, que trata da vivência de uma situação que efetiva marcas, que transforma aquele que vive a experiência.

O trabalho em campo teve caráter etnográfico, embora não tivesse pretensões de se constituir uma etnografia, e foi direcionado pelas questões que emergiram do trabalho historiográfico. Como subproduto desse trabalho esperamos ter produzido um material que permita o contato dos alunos com a história das pesquisas de Faraday e possa ajudá-los a compreender o significado das experiências em Física. Quem sabe também isso se torne um motivo para investir mais no trabalho experimental e estimule a pedir auxílio para que os professores colaborem no sentido de transformar essas atividades em efetivas “experiências” didáticas?

1. UM OLHAR SOBRE O TRABALHO DE MICHAEL FARADAY

Pelas revoluções espirituais que a invenção científica exige, o homem torna-se uma espécie mutante, ou melhor dizendo, uma espécie que tem necessidade de mudar, que sofre se não mudar.
(Bachelard, 1996)

Se ousássemos entrar em uma aula de Física do Ensino Médio e perguntássemos para os alunos: *O que um físico faz?*, provavelmente ouviríamos respostas estranhas (*Constroem bombas*) ou não obteríamos qualquer resposta. A pergunta em si não é difícil, mas a resposta depende da discussão de conteúdos que não fazem parte das conversas travadas em sala de aula, nem mesmo em aulas de Física. Diferente dos bombeiros, dos policiais, dos médicos, o trabalho dos físicos dificilmente aparece nos jornais ou na TV e a primeira (às vezes única) imagem que se forma em nossa mente em resposta à palavra *físico*, é a de um senhor cabeludo e despenteado, mostrando a língua. Em decorrência disso, construímos uma imagem de que o físico é um cientista meio maluco, que fica no laboratório fazendo experiências extraordinárias.

Parece ser muito difícil para o estudante do Ensino Médio desenvolver uma visão realista sobre a atividade científica; especialmente, parece ser difícil para os estudantes de Física relacionar os estudos que eles realizam, os exercícios que eles resolvem, as experiências que eles executam, com as atividades que um físico desenvolve. Afinal, “o físico é um cientista, ele um mero estudante”. Temos a impressão que os estudantes carregam essa idéia durante muito tempo de suas vidas escolares e que aqueles que ingressam num curso de física do Ensino Superior a trazem consigo.

Em face dessa realidade, entendemos que o ensino de Ciências, desde o Ensino Fundamental, deve situar o aluno em uma realidade científica mais ampla na tentativa de desmitificar a visão que se tem do cientista. Não se trata apenas de se preocupar com novas metodologias, como formas de facilitar a aprendizagem dos conceitos físicos, mas levar ao aluno o conhecimento do fazer ciência, da compreensão dessa ciência como uma ferramenta útil para um diálogo com o mundo e com sua possível transformação.

RIBEIRO e MARTINS (1998) contemplam essa questão e sugerem como alternativa a utilização da História da Ciência, dizendo que “*discussões dessa natureza são fundamentais para a formação do cidadão, uma vez que contribuem não só para o rompimento da fragmentação do currículo como também favorecem a compreensão dos processos da ciência, tornando a ciência*

escolar mais significativa. É desejável que em sua formação, o indivíduo compreenda como a ciência evolui e se desenvolve, e tenha consciência de que este desenvolvimento não é linear, ou seja, tem idas e vindas. Aprender ciência é também ter um conhecimento ainda que mínimo, das questões envolvidas no fazer ciência. E nesse sentido, a História da Ciência tem muito a contribuir”.

Também MARTINS (1990) acredita que a História da Ciência possa oferecer ricas contribuições ao ensino de Ciências, pois possibilita conhecer sobre a vida dos físicos, sobre a Física e o fazer ciências, trazendo como complementos os aspectos humanos, sociais e culturais às características mais técnicas do conhecimento, resgatando a evolução de conceitos e instituições, informando sobre a vida dos cientistas e, mais recentemente, trazendo as concepções alternativas que permearam determinadas épocas. Deste modo a história da ciência parece ir ao encontro da necessidade de despertar a reflexão do aluno sobre um universo físico e sobre um universo além do físico, com problemas sociais, culturais e éticos, dando a ele condições de interagir com esta realidade e tentar mudá-la, colocando em discussão com os alunos questões do tipo: como foram se construindo e se solidificando os paradigmas da Física? Como foram superados e substituídos? Quanto tempo é necessário para que uma revolução científica aconteça?

A História da Ciência também recebeu respaldo importante nos parâmetros e referenciais para a educação elaborados recentemente pelo Ministério da Educação.

A física percebida enquanto construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedidos ao longo dos tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz (BRASIL, 1999, p. 59).

A história da ciência é, na verdade, uma parte da história das sociedades humanas. A ciência tem um papel muito importante na direção e no ritmo da história, da mesma forma que a evolução da ciência é influenciada e mesmo determinada pela história do desenvolvimento das sociedades, ou seja, da política, da economia e da cultura. [...] Saber como a ciência opera é muito importante para entender a função desse instrumento capaz de contribuir para a melhoria das condições de vida da humanidade e também para julgar bons e maus usos que nossa sociedade faz da ciência e do conhecimento científico (TREVISAN, 2002, p. 14).

Esse apoio oficial ainda não se traduziu em mudança curricular ou nos livros textos, conforme nos aponta PEDUZZI (2001), mas tampouco podemos acreditar que esta medida seria a solução de todos os problemas didáticos do ensino de Ciências e, por conseguinte, da Física. Acreditamos em uma exploração da História da Ciência dentro de suas possibilidades reais de aplicação, que exige professores qualificados e material didático adequado, entre outras coisas. Somente assim a História da Ciência “*pode ser usada para contrabalançar os aspectos puramente teóricos de uma aula, complementando-os com um estudo de aspectos sociais, humanos e culturais; fornecendo informações (preferencialmente bem fundamentadas) sobre a vida dos cientistas, a evolução de instituições, o ambiente cultural geral de uma época, as concepções alternativas do mesmo período e as controvérsias e dificuldades de aceitação de novas idéias*” (MARTINS, 1990, p. 4).

Foi apostando nessa diversidade de possibilidades que a História da Ciência poderia proporcionar que reconstruímos a história de Faraday utilizando a historiografia, realizando novas análises de velhos documentos. Estudamos e fizemos alguns recortes da vida e da atividade experimental de Faraday, centrando em suas principais contribuições ao desenvolvimento do eletromagnetismo do século XIX, apoiadas em três fontes principais: o diário científico de Faraday, sua correspondência e os artigos que publicou no período de 1820 a 1832.

Segundo MARTINS (2003), a historiografia é “*o produto primário da atividade dos historiadores. Ela é constituída essencialmente por textos escritos. Ela reflete sobre acontecimentos históricos, mas agrega-lhe um caráter discursivo novo*”. No caso da nossa pesquisa procuramos descrever a atividade científica de Faraday e refletir sobre ela, o que exemplifica a História da Física como pertencente à área das Ciências Humanas, já que nosso foco não está no estudo dos fenômenos eletromagnéticos mas sim, no cientista que estudou os fenômenos.

O diário¹ foi editado por Thomas Martin, a partir do manuscrito deixado por Faraday, sendo que a obra completa contém anotações de setembro de 1820 até março de 1862. Esse material é uma importante fonte de informações, possibilitando acompanhar na seqüência o trabalho experimental de Faraday nesse período. Isso se deve ao fato de que as anotações de seus cadernos de laboratório, incluindo os esboços dos aparelhos experimentais, foram conservadas e publicadas em sete volumes.

¹ MARTIN, T. (ed.). *Faraday's diary. Being the various philosophical notes of experimental investigations made by Michael Faraday, 1820-1862*. 7 vols. London: G. Bell and Sons, 1932-1936.

Utilizamos apenas o primeiro dos sete volumes, compreendendo o período de setembro de 1820 a junho de 1832, bem como utilizamos somente o primeiro volume da correspondência de Faraday², editado por Frank A. J. L. James, abrangendo o que foi mantido de sua correspondência de 1811 a 1831. A correspondência que foi conservada do período que estamos estudando é bastante incompleta: aparentemente Faraday não guardava rascunhos ou cópias das correspondências que escrevia e enviava, assim muitas se perderam. Foi conservada maior quantidade de correspondência passiva (recebida) do que ativa (escrita pelo próprio Faraday). Todo o primeiro volume da correspondência foi examinado, selecionando-se todas as cartas que mencionassem assuntos relativos ao eletromagnetismo. As cartas relevantes foram traduzidas, para facilitar o trabalho, mas não estão sendo anexadas por tratar-se de material de estudo, apenas.

Com este material foi possível tentar acompanhar e compreender quais as idéias que guiaram as pesquisas de Faraday sobre eletromagnetismo, que resultaram na publicação de seis artigos em revistas e jornais conceituados no meio científico da época e no crescimento de sua reputação neste meio. Apresentaremos essa história dividida em quatro partes. Na primeira faremos um breve retrato biográfico, apresentando a trajetória de Faraday através das datas mais relevantes de sua história. Depois, passaremos para o ano de 1820 e os desdobramentos da descoberta do eletromagnetismo. Dividimos as pesquisas de Faraday nesta área em três períodos: 1820 a 1821, retratando as pesquisas iniciais, prioritariamente baseadas na reprodução de experimentos publicados por outros pesquisadores; 1821-1823, enfocando o começo de uma atividade inovadora, que passou a contribuir com o desenvolvimento da área; 1825-1832, onde mostraremos a trajetória de investigações e questionamentos das teorias da época até a experiência da indução eletromagnética.

1.1 UM BREVE RELATO BIOGRÁFICO

Michael Faraday nasceu em 22 de setembro de 1791, em Newington Butts, Surrey³. Seus pais, James Faraday (que trabalhava como ferreiro) e Margaret Hastwell, já tinham dois filhos, Elizabeth e Robert. Mudaram-se para Londres, quando Faraday tinha cinco anos, época em que a

² JAMES, F. A. J. L. (ed.). *The correspondence of Michael Faraday*. Vol. 1: 1811-1831. Stevenage: Institution of Electrical Engineers, 1991.

³ As referências biográficas são baseadas principalmente em: TYNDALL, J. *Faraday as a discoverer*. New York: Thomas Y. Crowell, 1961 e WILLIAMS, L. P. *Michael Faraday: a biography*. New York: Simon and Schuster, 1971.

Inglaterra sofria as conseqüências da Revolução Francesa. A situação financeira da família era ruim. James Faraday estava doente e embora Margareth se esforçasse, isso não impediu que Michael tivesse uma precária formação básica, aprendendo somente o necessário para ler, escrever e um pouco de matemática.

Em 1804, com 13 anos, Faraday começou a trabalhar para o Sr. G. Riebau, como ajudante em sua livraria. Sua função era transportar o material e ajudar nas encadernações. Foi esse contato com os livros que lhe possibilitou melhorar sua formação e iniciar sua carreira na Química. Ele lia com grande interesse todos os livros que podia.

Em 1812, através da ajuda de um cliente, assistiu a uma série de quatro conferências de Humphry Davy, na *Royal Institution*. Anotou cuidadosamente essas conferências e enviou uma cópia para Davy, pedindo-lhe um emprego em qualquer função relacionada à Ciência; em março do ano seguinte, com a demissão de um assistente, Faraday conseguiu o emprego. Então, aos 22 anos, Faraday tornou-se assistente de Humphry Davy em seu laboratório na *Royal Institution* de Londres.

Em outubro de 1813, Faraday acompanhou Davy em uma viagem pela França, Itália e Suíça, onde teve acesso a cientistas de diferentes áreas e aprendeu a “ver” e “pensar” os problemas científicos. Durante vários anos, apenas auxiliou Davy em seus estudos em Química e foi assim que adquiriu um enorme traquejo experimental. H. Davy foi um químico brilhante e seu laboratório era um dos mais bem equipados da Inglaterra. Com ele, Faraday fez um estudo sobre o cloro, experiências sobre difusão de gases e liquefação, dentre tantas outras atividades em Química.

Até 1820 Faraday não havia se dedicado a pesquisas físicas. Neste ano Ørsted divulgou a descoberta do eletromagnetismo, e o novo fenômeno despertou o interesse de muitos investigadores – incluindo Humphry Davy. Motivado por esses estudos, aos 29 anos Faraday iniciou uma série de trabalhos independentes sobre eletromagnetismo, sempre intercalados pelos estudos de Química. Segundo seu diário, os períodos em que Faraday se ocupou de assuntos relacionados ao eletromagnetismo de 1820 a 1831, foram:

1821: 21 de maio/ 03 a 10 de setembro/ 21 a 25 de dezembro

1822: 21 de outubro

1823: 18 a 28 de janeiro

1824: 28 de dezembro

1825: 28 de novembro a 02 de dezembro

1828: 26 de fevereiro/ 22 de abril

1831: 29 de agosto a 11 de junho de 1832

Desses estudos resultaram várias publicações de Faraday:

- Historical sketch of electro-magnetism. *Annals of Philosophy* [série 2] **2**: 195-200, 274-90, 1821 (a).
- On some new electro-magnetical motions, and on the theory of magnetism. *Quarterly Journal of Science* **12**: 75-96, 1821 (b).
- Sur les mouvemens électro-magnétiques et la théorie du magnétisme. *Annales de Chimie et de Physique* **18**: 337-70, 1821 (c).
- Description of an electro-magnetical apparatus for the exhibition of rotary motion. *Quarterly Journal of Science* **12**: 283-5, 1821 (d).
- Note on new electro-magnetical motions. *Quarterly Journal of Science* **12**: 416-21, 1822 (a).
- Historical sketch of electro-magnetism. *Annals of Philosophy* **19**: 107-17, 1822 (b).
- Historical statement respecting electro-magnetic rotation. *Quarterly Journal of Science* **15**: 288-92, 1823.
- Electro-magnetic current. *Quarterly Journal of Science* **19**: 338, 1825.
- Experimental researches in electricity. *Philosophical Transactions of the Royal Society* **122**: 125-62, 1832.

Em 1821, Faraday fez suas primeiras conferências e começou a publicar seus trabalhos independentes. Faraday casou-se com Sarah Barnad neste mesmo ano, e foi recomendado por Davy para sucedê-lo na superintendência do laboratório. A partir desse período, o trabalho de Faraday já era independente. Em 1824 ele se tornou membro da *Royal Society*, por seus trabalhos sobre Química. Em 1825 ele se tornou diretor do laboratório, e no ano seguinte iniciou uma série de conferências semanais, às sextas-feiras. Até 1830 os trabalhos principais de Faraday foram sobre Química. Em 1831, com a descoberta da indução eletromagnética, Faraday iniciou um período em que se envolveu cada vez mais com pesquisas físicas, sem nunca abandonar, no entanto, as investigações sobre Química.

Durante sua vida, Faraday foi chamado para consultoria em diversos trabalhos públicos e por 30 anos foi conselheiro da Trinity House. Sem nunca ter cursado uma universidade, recebeu títulos honorários e homenagens de toda parte do mundo, e ambos, Royal Society e Royal Institution, tentaram persuadi-lo a aceitar a presidência, sem sucesso.

No verão de 1858, Faraday se aposentou, após 38 anos de trabalho na Royal Institution. Morreu em 25 de agosto de 1867, em Hampton Court Green, Londres.

1.2 PRIMEIRA FASE DE PESQUISAS: 1820 – 1821

O eletromagnetismo foi descoberto por Ørsted, no início de 1820, na Universidade de Copenhague, onde lecionava. A versão mais aceita da descoberta é, ainda hoje, bastante duvidosa. Conta Hansteen (aluno de Ørsted), em uma carta escrita para Faraday em 30 de dezembro de 1857, que estava presente quando, no final de uma aula ministrada por Ørsted na Universidade de Copenhague, no início de abril de 1820, este fez sua descoberta. Hansteen relata que Ørsted utilizava uma forte pilha e sugeriu colocar o fio condutor paralelamente à agulha magnética, ficando perplexo ao vê-la oscilar fortemente “*quase em ângulo reto com o meridiano magnético*”. Conta ainda que Ørsted disse depois: “*Invertamos a direção da corrente*” e observou a agulha se desviar na direção contrária. Na carta, Hansteen acrescenta que a descoberta, portanto, se deu por acaso.

Muitas são as evidências contrárias às palavras de Hansteen, que, aliás, foram escritas mais de 37 anos após o fato ocorrido. Entre estas evidências está um artigo publicado em 1827 na Enciclopédia de Edinburg, onde se lê: “*Durante toda a sua carreira acadêmica, ele (Ørsted) aderiu à opinião que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos efeitos que os elétricos*” o que, no mínimo, nos leva a pensar que sua descoberta não tenha sido tão por acaso quanto Hansteen afirmava. A descrição da aula onde o efeito eletromagnético foi observado foi relatada por Martins:

O plano da primeira experiência consistia em fazer a corrente de um pequeno aparelho galvânico de frascos, comumente usado em suas conferências, passar através de um fio de platina muito fino, colocado sobre a bússola coberta com vidro. A experiência foi preparada, mas como acidentalmente ele foi impedido de ensaiá-la antes da aula, planejou adiá-la para outra oportunidade; no entanto, durante a conferência, pareceu-lhe mais forte a probabilidade de seu sucesso, e assim realizou a primeira experiência na presença da audiência. A agulha magnética, embora fechada em uma caixa, foi perturbada; mas, como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito irregular, antes da descoberta de sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público... No mês de julho de 1820, ele novamente retomou a experiência, utilizando um aparelho galvânico muito mais poderoso. O sucesso foi agora evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, a lei fundamental do eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela (MARTINS, 1986, p. 99).

Uma relação entre eletricidade e magnetismo já era esperada, sendo observação antiga, por exemplo, o efeito de descargas elétricas nas bússolas dos navios. Logo, o efeito observado por Ørsted era inesperado não porque se considerasse absurdo encontrar uma relação entre eletricidade e magnetismo, mas porque o fio não atraía nem repelia os pólos do ímã, tendo portanto propriedades de simetria inesperadas (MARTINS, 1986).

A descoberta de Ørsted, publicada em artigo datado de 21 de junho de 1820⁴, desencadeou um grande interesse na comunidade científica da época e também Davy começou a investigar o assunto. Em novembro de 1820, poucos meses após a descoberta de Ørsted, ele escreveu uma carta a Wollaston⁵, descrevendo seus experimentos (DAVY, 1821a). Durante o final de 1820, Davy e Wollaston realizaram juntos alguns experimentos na Royal Institution, e Faraday participou deles (FARADAY, 1823). Em julho de 1821, Davy publicou um segundo trabalho sobre o eletromagnetismo (DAVY, 1821b). Nesse trabalho, nota-se que Davy não adotou a interpretação de Ørsted de um efeito magnético girando em torno do fio. Em vez dessa idéia, Davy procurou atrações e repulsões na direção do próprio fio. Ele descreve, por exemplo:

[...] O pólo sul de uma agulha magnética comum (suspensa do modo usual), colocado sob o fio comunicador de platina, (a extremidade positiva do aparelho estando para o lado direito) foi fortemente atraído pelo fio, e permaneceu em contato com ele, de modo a alterar completamente a direção da agulha, e superar o magnetismo terrestre. Eu só consegui explicar isso supondo que o próprio fio se tornou magnético durante a passagem da eletricidade através dele, e experimentos diretos, que realizei imediatamente, provaram que assim era (DAVY, 1821a, p. 8).

Para confirmar sua interpretação, Davy aproximou o fio condutor de limalhas de ferro e observou que elas eram atraídas pelo fio e se prendiam nele. Depois, imantou agulhas de aço colocadas junto ao fio condutor e realizou outros experimentos. À medida que fazia mais observações, Davy notou que era difícil explicar a polaridade magnética observada e citou uma hipótese de Wollaston segundo a qual haveria uma rotação magnética em torno do fio (DAVY, 1821a). Mas Davy não se decidiu a favor nem contra essa hipótese.

O primeiro contato de Faraday com o eletromagnetismo se deu como assistente de Davy. Foram de autoria deste os primeiros experimentos sobre eletromagnetismo, assistidos por

⁴ ØRSTED, H. C. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. Trad. R. A. Martins. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (10): 115-122, 1986.

⁵ W. H. Wollaston era um cientista importante na Inglaterra naquele período.

Faraday e por ele descritos em seu diário, em 21 de maio de 1821, como pode ser visto nas suas anotações do dia:

Na London Institution: Experimentos de Sir H. Davy. Presentes: Dr. Ure, Mr. Pepys, Mr. Venon etc. etc., comigo [o próprio Faraday] (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 45).

Somente em setembro daquele ano Faraday fez novas anotações sobre eletromagnetismo em seu diário. Foi uma série de experimentos realizados em sete dias, sobre rotações eletromagnéticas. No entanto, sua correspondência traz evidências de que estes não foram os primeiros experimentos realizados por ele. Em 11 de agosto de 1821, Faraday recebeu uma carta⁶ de Richard Phillips, onde o autor indaga a Faraday sobre suas pesquisas em eletromagnetismo e sobre um artigo que teria sido encomendado por ele a Faraday. Numa outra carta⁷, também de R. Phillips para Faraday, esta datada de 4 de setembro, Phillips acusa o recebimento do artigo, citado anteriormente, e assegura que sua publicação seria feita anonimamente, como pedido por Faraday:

Eu li hoje o artigo sobre eletromagnetismo, e nem necessito dizer que este tem minha inteira aprovação, sendo exatamente o que eu queria. [...] Eu tomarei todos os cuidados para manter seu nome privado, mas não tenho a mínima objeção de tornar este conhecido quando você desejar – tout au contraire – quanto mais cedo, melhor (PHILLIPS in JAMES, 1991, p. 220).

Por que Faraday, um simples ajudante de laboratório, foi convidado a escrever um artigo para uma revista conceituada sobre um assunto tão importante naquele momento? E por que pediu o anonimato? Será que tinha medo de, sendo mero ajudante de Humphry Davy, estar-se envolvendo num assunto novo?

Embora não esteja claro em quais circunstâncias Faraday foi convidado a escrever um artigo de revisão sobre o eletromagnetismo, para a revista *Annals of Philosophy*, sabemos que ele aceitou o convite e preferiu que seu nome não aparecesse na publicação⁸. A carta citada não traz qualquer indicação a respeito, e as cartas de Faraday para Phillips se perderam. Sabemos também que Faraday se dedicou a ler um grande número dos trabalhos que haviam sido publicados até

⁶ *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 145, vol. 1, p. 219.

⁷ *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 147, vol. 1, p. 220.

⁸ Somente em 1823, com “Historical statement respecting electro-magnetic rotation”, publicada no *Quarterly Journal of Science* (Faraday, 1823) é que ele assume a autoria destes artigos, para provar seu conhecimento na área, pois estava sendo acusado de ter-se apropriado das idéias de outro cientista.

então e redigiu um artigo que foi publicado em três partes, sob o título de “Historical sketch of electro-magnetism” (FARADAY, 1821a, 1822b). Na primeira parte do artigo Faraday faz um resumo do trabalho realizado por Ørsted, suas considerações e hipóteses que levaram à descoberta do eletromagnetismo. Sua intenção era obter uma idéia mais clara sobre o que se tinha feito e descoberto até aquele momento. Falando sobre os efeitos de uma corrente elétrica através de um fio, diz:

Outro efeito, e este é que foi descoberto por Ørsted, é que se colocado [o fio através do qual está passando uma corrente elétrica] junto a uma agulha magnética, tem o poder de atrair ou repelir esta de uma certa maneira, em obediência a certas leis simples (FARADAY, 1821a, p. 197).

Nota-se que Faraday também estava pensando em atrações e repulsões, como Davy, e não em um efeito magnético circular em torno do fio, mesmo sendo esta a interpretação oferecida por Ørsted, autor da experiência.

Na segunda parte do seu artigo, publicada no volume 18 dos *Annals of Philosophy*, Faraday descreve a contribuição dos pesquisadores posteriores a Ørsted, centralizando-se apenas nos fenômenos descobertos e evitando falar sobre as interpretações dos fatos. Ele analisa principalmente o trabalho de pesquisadores franceses, mencionando Arago, que foi o primeiro físico francês a tomar conhecimento da descoberta de Ørsted e a comunicá-la à Academia de Ciências de Paris, permitindo desta forma que Ampère ficasse a par desse trabalho.

Ampère logo se tornou um dos pesquisadores mais ativos na área, repetindo, variando e aplicando os resultados dos experimentos de Ørsted. Esse trabalho de Ampère resultou na publicação de um primeiro artigo em 18 de setembro, onde ele descreve um aparelho, chamado “galvanômetro”, desenvolvido por Schweigger, capaz de medir a corrente elétrica utilizando os efeitos descobertos por Ørsted. Na semana seguinte, em 25 de setembro, Ampère apresenta à Academia de Ciências de Paris outro trabalho, onde propõe a redução dos fenômenos magnéticos a efeitos puramente elétricos e discute a interação entre duas correntes elétricas⁹. Os resultados alcançados por Ampère sobre esta última, em linhas gerais, são colocados por Faraday como:

Duas correntes elétricas se atraem quando se movem paralelas entre si e na mesma direção, e se repelem quando elas se movem paralelas entre si em direções contrárias. Quando fios metálicos atravessados por correntes podem girar somente em planos paralelos, cada uma destas correntes

tende a direcionar a outra dentro de uma situação na qual esta seria paralela e na mesma direção. Aquelas atrações e repulsões são inteiramente diferentes das atrações e repulsões elétricas ordinárias (FARADAY, 1821a, p. 276).

Nesses dois primeiros artigos sobre eletromagnetismo, Faraday não apresentou nenhuma contribuição original. Mas, estimulado pela leitura dos artigos que precisou consultar e intrigado talvez por alguns resultados estranhos encontrados na repetição dos experimentos (FARADAY, 1823), começou a fazer novas investigações na *Royal Institution* que o conduziram a novas descobertas.

Assim, fica evidente que Faraday realizou experiências eletromagnéticas antes de ter começado a registrá-las em seu diário, no qual, no período de julho de 1820 a setembro de 1821, constam somente relatos de suas experiências em Química. Isto nos parece bastante curioso, agravado pelo fato de também não haver qualquer outro vestígio em sua correspondência, de que Faraday tivesse feito qualquer trabalho sobre eletromagnetismo antes de agosto de 1821.

O que poderia ter acontecido? Será que Faraday não acreditava que aquela matéria seria algo importante em sua carreira e, inicialmente, não lhe deu a devida consideração a ponto de registrar o que fazia?

A primeira carta que contém material que evidencia um trabalho experimental de Faraday sobre eletromagnetismo é datada de 12 de setembro de 1821. De acordo com esta carta¹⁰, de Faraday para Charles-Gaspard de La Rive, parece que a princípio Faraday e Davy não deram muita importância à teoria elaborada por Ampère sobre eletromagnetismo, em virtude da falta de comprovação experimental:

Você nos critica parcialmente por não termos valorizado suficientemente os experimentos de Ampère sobre eletromagnetismo. Permita-me expressar um pouco nossa opinião sobre este ponto. Com relação aos experimentos, eu espero e acredito que seja dada a devida importância aos mesmos, mas você sabe que eles são poucos e a teoria constitui a maior parte do que o Sr. Ampère publicou, e teoria em muitos pontos sem base em experimentos, quando eles deveriam ter sido fornecidos. Ao mesmo tempo os experimentos do Sr. Ampère são excelentes e sua teoria é engenhosa, e quanto a mim próprio eu tinha pensado muito pouco sobre ela antes de sua carta chegar, pois sendo naturalmente cético sobre teorias filosóficas, eu pensei que havia uma grande falta de evidência experimental (FARADAY in JAMES, 1991, p. 222).

⁹ Utilizando as palavras de MARTINS, 1986: “Ampère sugere que o magnetismo é um fenômeno secundário, e que na superfície dos ímãs existiam correntes elétricas fechadas, invisíveis, responsáveis por seus efeitos.”

Nota-se na correspondência citada uma aparente restrição que Faraday tinha nessa época por teorias em geral e pela de Ampère em particular. Apesar disso, Faraday diz na carta que estava trabalhando no assunto e prova disso era um artigo que seria publicado na revista da *Royal Institution*.

Desde então, no entanto, de algum modo eu me interessei pelo assunto e tenho um artigo no nosso Institution Journal, que irá aparecer em uma semana ou duas e que traz um experimento que pode ser imediatamente aplicado pelo Sr. Ampère em apoio de sua teoria, muito mais adequadamente do que foi por mim (FARADAY in JAMES, 1991, p. 222).

Faraday referia-se ao artigo “On some new electro-magnetical motions and on the theory of magnetism”, datado de 11 de setembro de 1821 e apresentado no *Quarterly Journal of Science*, que representou o início de uma nova fase em seu trabalho e um grande avanço nos conhecimentos obtidos na época. Neste artigo Faraday acrescenta resultados de seu próprio trabalho às teorias elaboradas pelos diversos cientistas.

1.3 SEGUNDA FASE DE PESQUISAS: 1821-1823

As primeiras experiências foram guiadas pela idéia de que um fio conduzindo corrente deveria atrair ou repelir os pólos magnéticos de uma agulha magnética. Faraday colocou o fio condutor em uma posição vertical. Aproximando uma agulha para verificar a posições de atração e repulsão, Faraday encontrou que para cada pólo existiam duas posições atrativas e duas repulsivas, permitindo que a agulha tomasse sua posição original em relação ao fio.

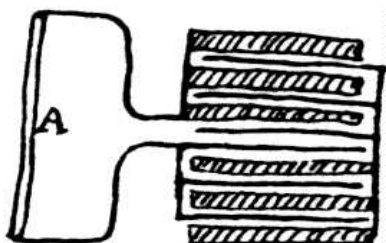


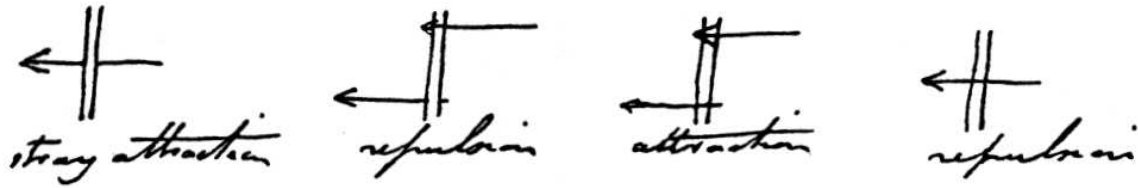
Figura 1: Calorimotor de Hare

A bateria utilizada foi o chamado calorimotor de Hare (que pode ser visto na figura ao lado), que consistia em um conjunto de placas de zinco e cobre. O fio A, em posição vertical, conduzia a corrente elétrica gerada pelo aparelho.

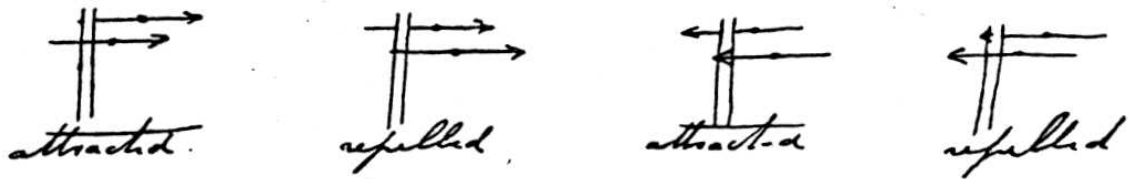
Os resultados obtidos são mostrados abaixo através dos esboços e comentários numerados de Faraday encontrados no diário e datados de 3 de setembro de 1821, mostrando as posições de atração e repulsão para os pólos norte e sul.

¹⁰ *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 148, vol. 1, p. 221-223.

2. As posições determinadas inicialmente eram as seguintes:



3. Ao examinar mais cuidadosamente encontrei que cada pólo tinha 4 posições, 2 de atração e 2 de repulsão, assim:



4. Olhando de cima para baixo para a seção do fio



5. Ou



Esse resultado não era o mesmo encontrado por Ørsted, para quem não existia uma posição atrativa e uma repulsiva para cada pólo. Na descrição dos resultados apresentados no artigo, Faraday escreve:

Aproximando o fio, perpendicularmente, na direção de um pólo de uma agulha, este se desviará para um lado, segundo a atração ou repulsão dada na extremidade do pólo; mas, se o fio é continuamente aproximado do centro do movimento [o meio da agulha magnética], por um lado ou pelo outro da agulha, a tendência da agulha de mover-se na direção anterior diminui até anular-se, de forma que a agulha torna-se indiferente ao fio. Finalmente, o movimento se inverte e a agulha é fortemente forçada a passar pelo caminho oposto (FARADAY, 1821b, p. 74).

A partir de experimentos como este Faraday se convenceu, primeiramente, de que os pólos da agulha magnética não estavam exatamente nas suas pontas, mas a uma certa distância das extremidades, no eixo da agulha. Porém, o resultado mais importante dos experimentos foi

que, repetindo-os e observando os movimentos, Faraday se convenceu de que ao invés de sofrer atração e repulsão, o pólo magnético da agulha tendia a girar em torno do fio condutor.

6. Isto indica movimentos em círculos ao redor de cada pólo, deste modo:



Portanto, o fio move-se em círculos opostos ao redor de cada pólo e/ou os pólos movem-se em círculos opostos ao redor do fio (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 49).

Tendo obtido os mesmos resultados em direção oposta, para o outro pólo, Faraday concluiu:

[...] Não existe atração entre um fio e cada pólo de um ímã; um fio deve girar ao redor de um pólo magnético e o pólo magnético ao redor do fio; tanto a atração e repulsão de fios conectantes quanto, provavelmente, entre ímãs, são ações compostas; pólos magnéticos verdadeiros são centros de ação induzidos por toda a barra etc. (FARADAY, 1821b, p. 74).

Esses resultados eram compatíveis com a interpretação de Ørsted que, ao invés de descrever atrações e repulsões, descrevia os movimentos de rotação da agulha magnética, ou seja, estava preocupado com questões de direcionamento e não de forças. Parece, portanto, que Faraday não havia compreendido esse trabalho ou estava muito fortemente influenciado pela interpretação de Humphry Davy, que também não havia compreendido (ou concordado com) Ørsted e que havia dado bastante atenção à atração que o fio condutor exercia sobre limalha de ferro, como já foi citado anteriormente.

Faraday elabora, então, vários experimentos para verificar tais conclusões. A idéia de que um pólo magnético deveria girar em torno do fio condutor era estranha e difícil de realizar, pois os dois pólos tenderiam a girar em sentidos opostos e, estando unidos entre si, não deveria ser possível observar nenhum movimento resultante. À primeira vista, a impossibilidade de separar os pólos de um ímã impossibilitaria uma confirmação direta dessa interpretação. Da mesma forma, a rotação de um fio em torno de um ímã seria difícil de observar, já que os dois pólos do ímã produziram efeitos opostos.

Apesar das dificuldades, Faraday conseguiu inicialmente produzir a rotação de um fio condutor em torno de um ímã através de recursos bastante engenhosos. Ele suspendeu um fio metálico em posição vertical entre dois contatos que não impediam o seu movimento. O contato

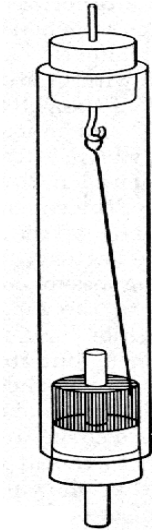


Figura 2 – Dispositivo para experiências de rotação.

inferior era um recipiente com mercúrio líquido. Colocando um ímã em forma de barra com apenas um dos pólos próximo ao fio, ele adquiria um movimento de rotação em torno da extremidade do ímã. Faraday observou que o sentido de rotação do fio era invertido quando se mudava o sentido da corrente ou quando se trocava o pólo do ímã que agia sobre o fio.

O próximo passo, também bem sucedido, foi fazer o pólo girar ao redor do fio. Para isso, Faraday fez um dispositivo em que um ímã flutuava verticalmente em um recipiente de mercúrio líquido, fazendo passar uma corrente por um fio vertical mergulhado no mercúrio. O efeito da corrente elétrica atuava mais fortemente sobre o pólo superior do ímã do que sobre o pólo inferior, por isso ele girava em torno do fio. Como no caso do experimento anterior, Faraday inverteu a corrente elétrica e observou que a rotação mudava de sentido.

Faraday, após provar as rotações de um ímã ao redor do fio e do fio ao redor do ímã, propôs tentar fazer um fio e um ímã girarem em torno de seus próprios eixos. Não conseguiu nenhuma movimentação e expressou suas conclusões nos seguintes parágrafos retirados de seu diário:

19. Não pude fazer o ímã ou fio no centro girar em torno de seu próprio eixo – mas se a revolução depende essencialmente dos movimentos das correntes e não dos condutores, exceto como meio, talvez essas correntes nos eixos possam girar sem o meio enquanto aquelas na circunferência não podem.

20. Tudo tende a provar que não existe atração entre os pólos do ímã e o fio, mas somente movimento em uma direção circular, e todos os movimentos do ímã ou seus pólos sobre os fios podem ser deduzidos destes. Quando o pólo simples estava flutuando sobre o mercúrio este mostrou isso tanto girando ao redor de fios simples quanto passando através de [fios] duplos (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 51).

As rotações eletromagnéticas se constituíram numa contribuição importante ao desenvolvimento da nova área e o artigo de FARADAY (1821b), bastante longo e repleto de

experimentos e discussões, foi rapidamente traduzido para o francês¹¹ e acrescido de comentários escritos por Ampère.

O interesse de Ampère parece também ter sido ligado a duas outras séries de experimentos descritos no artigo. Uma dizia respeito aos efeitos produzidos por correntes paralelas e a outra tratava da existência de correntes elétricas dentro dos próprios imãs, uma hipótese que era defendida por Ampère, sobre a qual os experimentos realizados por Faraday não permitiram conclusão favorável, nem tampouco contrária.

Com relação às correntes paralelas, podemos seguir o desenvolvimento da questão até a conclusão de Faraday. Consideremos dois fios paralelos conduzindo correntes elétricas no mesmo sentido. Ampère havia descrito que eles se atraíam, mas a atração de duas correntes iguais parecia contrária a tudo o que se conhecia na eletricidade e no magnetismo, pois duas cargas iguais (ou dois pólos magnéticos iguais) se repelem. Faraday proporcionou uma outra interpretação: quando os dois fios paralelos conduzem correntes no mesmo sentido, os lados desses fios que estão próximos entre si apresentam propriedades opostas (isto é, produzem movimentos opostos em pólos magnéticos), e seriam esses efeitos opostos que resultariam em uma atração dos fios.

O final do ano de 1821 contou ainda com quatro fatos importantes: a publicação nos *Annals of Philosophy* da segunda parte do artigo “Historical sketch of electro magnetism”; a defesa de Faraday das acusações do Sr. Wollaston¹², a publicação no *Quarterly Journal of Science* do artigo “Description of an electro-magnetical apparatus for the exhibition of rotary motion”¹³ e a realização de uma seqüência de experimentos entre os dias 21 e 25 de dezembro, onde Faraday tentou demonstrar que seria possível, como havia sido predito teoricamente, que assim como um fio tendia a se mover no campo de um ímã permanente (quando transportando uma corrente), também se moveria influenciado pelo campo magnético da Terra.

Na primeira série de observações, ele colocou o fio, delicadamente equilibrado, na posição horizontal e perpendicular ao meridiano magnético, de forma que se moveria com a menor força. O fio, quando conectado às placas do calorimotor de Hare, moveu-se na direção norte e quando a conexão foi invertida, moveu-se na direção sul.

¹¹ FARADAY, Michael. Sur les mouvemens électro-magnétiques et la théorie du magnétisme. *Annales de Chimie et de Physique* **18**: 337-70, 1821c.

¹² As acusações do Sr. Wollaston e a defesa de Faraday serão tratadas novamente adiante.

¹³ No artigo Faraday descreveu um aparelho construído por um artesão chamado Newman, detalhando a construção e o funcionamento, que permitia a observação da rotação de um fio em torno de um ímã e a rotação de um ímã em torno de um fio condutor.

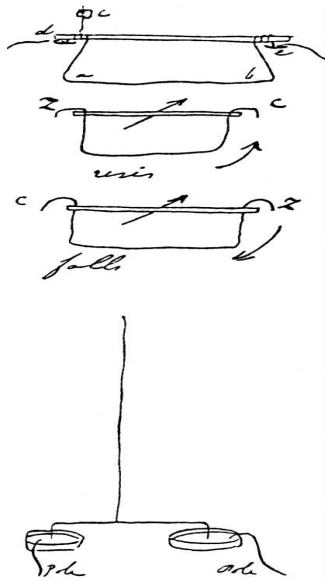


Figura 3 – Experimentos de rotação sob influência do campo magnético terrestre.

Faraday utilizou diferentes dispositivos. Em um deles, um fio era dobrado, de tal modo a formar um retângulo vertical, podendo oscilar em torno de um eixo horizontal. O plano do retângulo era colocado em posição perpendicular ao campo magnético terrestre. Conectando o fio aos pólos Z (zinco) e C (cobre) de uma bateria, ele notava um movimento do mesmo, para um lado ou para o outro, conforme indica a figura ao lado.

Em outros experimentos, Faraday suspendeu o fio condutor por um longo fio isolante, realizando o contato elétrico através de recipientes cheios de mercúrio líquido. O movimento do fio dependia de sua direção (em relação ao meridiano magnético) e do sentido da corrente elétrica.

Frente aos resultados positivos ele escreveu:

Esses movimentos são evidentemente o resultado de uma força rotativa emanando do pólo da Terra e atuando no fio; eles apontam também para a direção da curva de Ampère¹⁴ (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 61).

Sabemos que o campo magnético terrestre é inclinado em relação ao horizonte (declinação magnética) e que uma agulha magnética suspensa adequadamente indica essa declinação magnética da Terra. Acreditando que o movimento do fio deveria aparecer num plano perpendicular à direção da agulha em todas as latitudes, Faraday supôs que a força deveria tender a erguer um pouco o fio na direção norte e baixá-lo na direção sul. Tentando verificar essa pequena diferença de peso, suspendeu o fio pela extremidade de uma pequena balança (ao invés do teto); contudo, não obteve êxito, possivelmente devido ao efeito superficial do mercúrio nos pontos de contato, que interferia em qualquer medida precisa de forças verticais.

O último experimento bem sucedido do ano foi realizado no dia 25 de dezembro, quando Faraday conseguiu a rotação contínua de um fio devido ao magnetismo terrestre.

Em um recipiente de vidro coloquei mercúrio e um pouco de ácido nítrico diluído. Peguei aproximadamente 6 polegadas de fio de 1/56 polegadas de espessura, formando um gancho no

topo, o qual estava suspenso por outro gancho fixo; coloquei um pedaço de cortiça na extremidade inferior, o fio passando através desta, depois a apoiei no mercúrio de forma que o fio formou um ângulo maior que a inclinação da agulha [magnética]. Depois, conectando o mercúrio com um pólo [da bateria] e o fio com o outro, este começou a rodar e continuou rodando enquanto a conexão foi mantida. Mudando a conexão, a direção do movimento também mudou (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 63).

Note-se que neste experimento, como em outros, Faraday não estava tentando descobrir nenhum fenômeno novo. Ele estava variando experimentos antigos, observando efeitos das forças entre ímãs e fios condutores em situações ligeiramente diferentes. Estes experimentos, no entanto, produziram uma novidade, levaram-no a uma intensa correspondência com Ampère e logo no início do ano seguinte, em carta¹⁵ datada de 23 de janeiro de 1822, Ampère escreveu para Faraday descrevendo a repetição e analisando os experimentos de rotação eletromagnética, sugerindo que tais experimentos poderiam ser utilizados como provas da existência das correntes elétricas no interior dos ímãs, argumentando que *“a rotação de um ímã em torno de seu próprio eixo, pela ação de um fio condutor, parece ser o fator determinante. Esta rotação só pode ocorrer se existirem correntes elétricas nos ímãs, em torno de cada uma de suas moléculas”* (AMPÈRE in JAMES, 1991, p. 245).

Em resposta a esta, Faraday escreve uma carta¹⁶ para Ampère em 2 de fevereiro, onde diz:

A rotação do ímã me parece ocorrer em consequência das diferentes partículas, das quais este é composto, serem colocadas, pela passagem da corrente, no mesmo estado que o fio de comunicação entre os pólos voltaicos assume em relação à posição do pólo magnético (FARADAY in JAMES, 1991, p. 251).

Em seguida, Faraday explicou o que queria dizer: o motivo básico da rotação do ímã em torno de seu eixo não era a existência de correntes circulares em seu interior, mas sim ação entre a corrente elétrica que passa por ele e os pólos magnéticos do próprio ímã.

¹⁴ Experimento conhecido onde um anel de fio conduzindo corrente elétrica, quando livre para rotacionar no eixo vertical, se movimenta no plano leste e oeste em relação ao meridiano magnético.

¹⁵ *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 162, p. 245.

¹⁶ *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 165, p. 251-252.



Figura 4 – Corrente elétrica percorrendo um ímã flutuando em mercúrio.

Consideremos a corrente elétrica que flui através do ímã, entrando por seu topo e saindo lateralmente, para o mercúrio no qual o ímã está flutuando, como indicado pelas setas no desenho da carta de Faraday, reproduzido ao lado. Exceto no caso das correntes que passam exatamente pelo eixo do ímã, pode-se considerar cada parte condutora do ímã como um pequeno fio percorrido pela corrente, e que tenderá a girar em torno do pólo do próprio ímã, como no experimento de Faraday.

Para mostrar que essa era a interpretação correta, ele modificou o experimento, substituindo o ímã por uma barra de cobre, também flutuando sobre o mercúrio. Quando a corrente passava pela barra e quando se colocava um ímã abaixo do recipiente de mercúrio, a barra de cobre começava a girar.

Eu fui tão cauteloso ao dar minha visão da rotação porque se esta for a verdade eu não vejo como o experimento determina a posição das correntes mais do que aquela na qual o fio roda ao redor de um pólo: talvez você tenha os mesmos resultados mas veja explicações que eu não vejo. Eu lamento que minha deficiência em conhecimento matemático me torne incapaz de compreender estes assuntos. Eu sou naturalmente cético em relação a teorias e, portanto, você não deve ficar bravo comigo por não admitir imediatamente esta que você apresentou (FARADAY in JAMES, 1991, p. 251).

Podemos perceber nas palavras de Faraday o imenso respeito que tinha por Ampère, talvez em virtude do prestígio que este tinha no meio científico. Mesmo assim, Faraday não deixou de colocar suas idéias, ainda que contrárias às dele, e de sustentá-las frente a este, mostrando seu brio e competência em lidar com o assunto.

A descoberta dos novos fenômenos de rotação havia desviado Faraday de seu trabalho de revisão bibliográfica para os *Annals of Philosophy*. No entanto, pouco depois ele publica a terceira parte desse trabalho. Neste artigo, ainda publicado anonimamente, Faraday inicialmente fez um relato das teorias existentes sobre eletromagnetismo, que ele considerava serem as mais significativas. Neste, cita: Ørsted, Berzelius, Wollaston, Schweigger, Ridolfi e Ampère, apontando que as idéias deste último seriam as mais completas e precisas, embora necessitando serem desenvolvidas em maior profundidade. Ao descrever as idéias de Ørsted, Faraday afirmou não compreendê-las muito bem (FARADAY, 1822b), o que é curioso, pois ele próprio havia

acabado de adotar uma interpretação do eletromagnetismo muito semelhante à de Ørsted. Por fim, Faraday dedicou várias páginas à descrição das idéias de Ampère.

A última publicação de Faraday desta seqüência se deu em 1823, no *Quarterly Journal of Science*, com o título: “Historical statement respecting electro-magnetic rotation” (FARADAY, 1823). O artigo apresentou sua argumentação contra as acusações de ter-se apropriado indevidamente das idéias de Wollaston na questão da rotação eletromagnética. Como Wollaston era um importante personagem da época, além de ser amigo de Davy, é provável que Faraday estivesse em grandes apuros por causa dessa acusação.

Faraday se defende dizendo não ter feito referência às idéias de Wollaston por não ter conseguido a permissão deste a tempo de fazê-lo e declarando que as idéias apresentadas eram próprias, inclusive sendo idéias conflitantes com as do referido Dr. Wollaston¹⁷. Este supunha a existência de uma força única atuando ao redor do eixo do fio, enquanto Faraday supunha a princípio, a existência de duas forças atuando uma em cada lado do fio. Além disso, Faraday revela ser o autor do “Historical sketch of electro-magnetism” e indica que havia dado o devido crédito a todos os pesquisadores (inclusive Wollaston). Esclarece vários aspectos históricos relevantes, como ter trabalhado com Humphry Davy em diversos experimentos sobre eletromagnetismo, no final de 1820.

Por que Faraday não foi protegido por Davy, visto que esse tinha influências e amizade pessoal com o acusador de Faraday? O que levou Faraday a sair do anonimato quanto aos trabalhos que havia publicado no início da carreira?

Mesmo após essas acusações, em 18 de janeiro de 1823, Faraday voltou a trabalhar nos experimentos eletromagnéticos, começando suas anotações no diário com uma lista de “Resultados esperados em eletromagnetismo” (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 92). Na verdade, Faraday planejou entre os dias 18 e 28 de janeiro uma seqüência de vinte e quatro experimentos sobre rotações, com um enfoque bastante diferente do que tinha feito anteriormente.

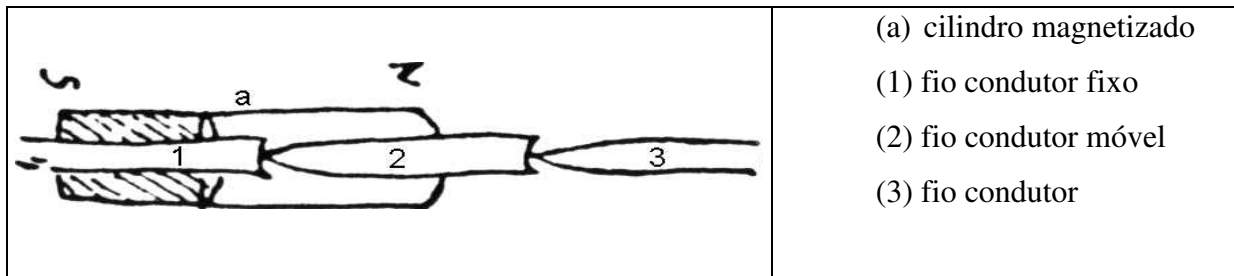
Os experimentos foram enumerados e contam (a maioria) com esboço da montagem e uma breve indicação do que seria esperado em cada uma delas. Todos eles estão relacionados a fenômenos de rotação de fios ou ímãs em torno de seus próprios eixos – um problema importante sob o ponto de vista da discussão entre Faraday e Ampère, como vimos. Apresentamos abaixo alguns exemplos e tentamos esclarecer os elementos de cada experimento, já que Faraday não

¹⁷ Uma curta descrição das idéias de Wollaston foi publicada no artigo anônimo: *Connexion between magnetism and electricity*, no *American Journal of Science*, em 1821. (Infelizmente não tivemos acesso ao artigo)

descreve detalhadamente os mesmos. Foram adicionados aos esquemas de Faraday alguns números, para identificar e permitir a descrição dos componentes dos experimentos.

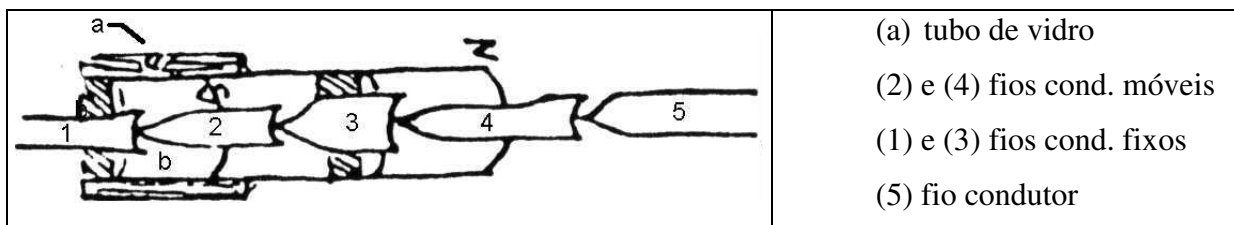
Todos os desenhos abaixo estão, no diário de Faraday, colocados na posição vertical. No entanto, para facilidade de diagramação, colocamos todos os desenhos na posição horizontal.

Figura 5 – Experimento I: rotação de um fio ao redor de seu próprio eixo.



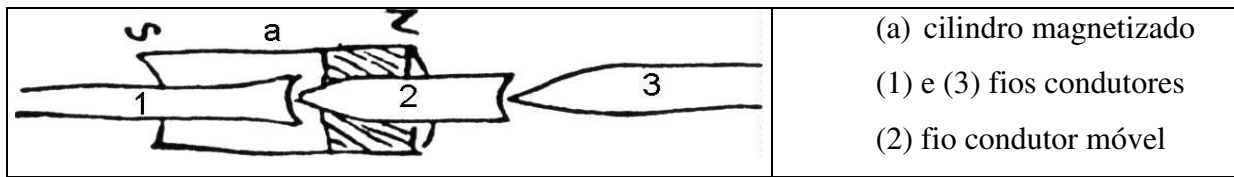
No pólo sul do cilindro, uma rolha (ou similar) fixa o fio (1). Este está em contato móvel com o fio (2), que sai pelo pólo norte do cilindro, fazendo contato móvel com o fio (3). Passando uma corrente através dos fios, a expectativa era da rotação do fio central (2).

Figura 6 – Experimento II: rotação de dois fios em seus eixos.



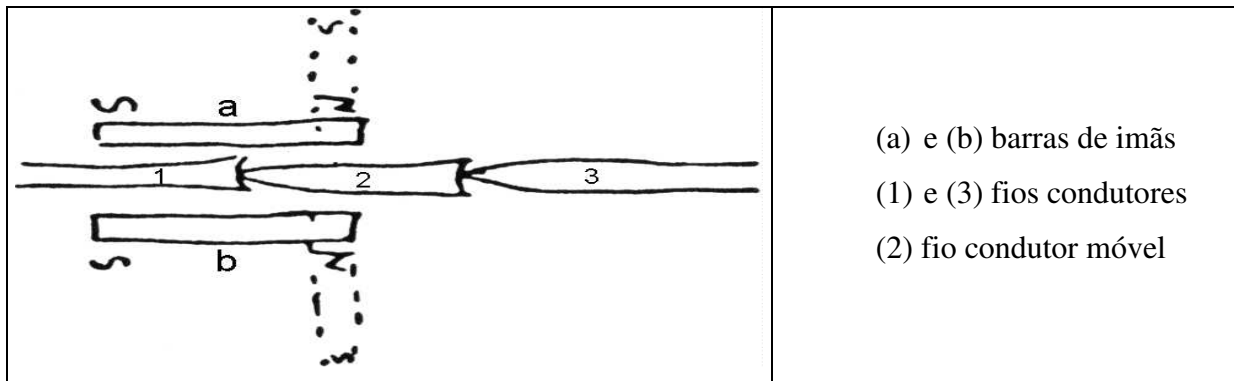
O tubo vidro (a) fixa o cilindro e o fio (1). Este fio (1) e também o fio (3) fixo por uma rolha, estão em contato com o fio (2) móvel. Este fio (2) está metade dentro do cilindro (na extremidade sul) e metade dentro de (b), que deveria ser um material transparente que permitisse visualização do fio (2). O fio (4) móvel estaria em contato com os fios (3) e (5) e estaria metade dentro do cilindro e metade fora. Com a passagem da corrente, os fios (2) e (4) deveriam girar em torno de seus eixos. Nota-se que esse experimento é similar ao anterior, acrescentando um fio móvel na outra extremidade do cilindro.

Figura 7 – Experimento III: Rotação do magneto ao redor do fio.



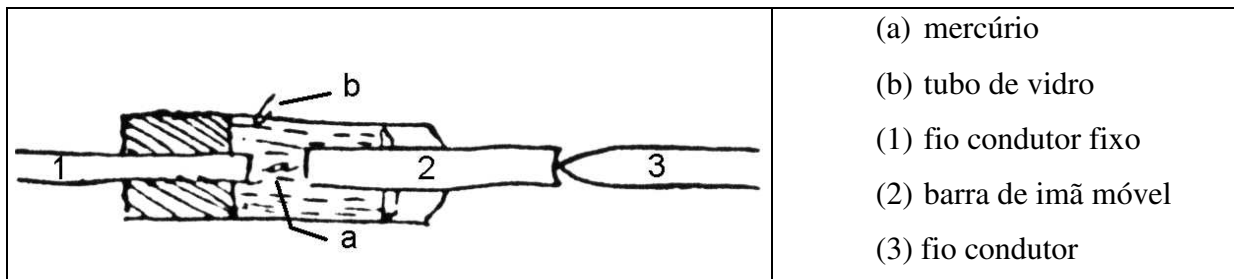
Esta montagem está datada de 21 de janeiro. O cilindro magnetizado está preso ao fio (2) por uma rolha, em sua extremidade norte. O fio (2) está em contato móvel com os fios (1) e (3) e deveria girar junto com o cilindro quando uma corrente atravessasse os fios.

Figura 8 – Experimento IV: Rotação do fio ao redor de seu eixo.



Mesma configuração de fios dos experimentos I e III, ou seja, um fio (2) em contato móvel com fios (1) e (3). No lugar do cilindro magnetizado, temos dois ímãs em forma de barras, colocados paralelamente ao lado dos fios, na extensão dos fios (1) e (2). Como uma variação do experimento, poder-se-iam colocar os ímãs perpendiculares ao fio (2). Nos dois casos, este fio (2) deveria rodar com a passagem da corrente.

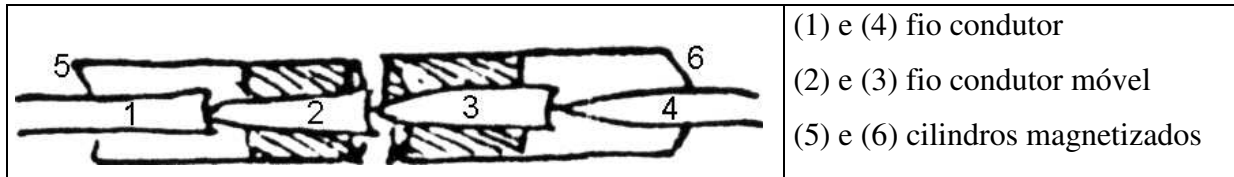
Figura 9 – Experimento V: rotação do magneto em seu próprio eixo.



A polaridade do ímã (2) não foi indicada, identificamo-lo como a peça central, visto ser esta a única totalmente móvel, estando uma extremidade em contato móvel com o fio (3) e a

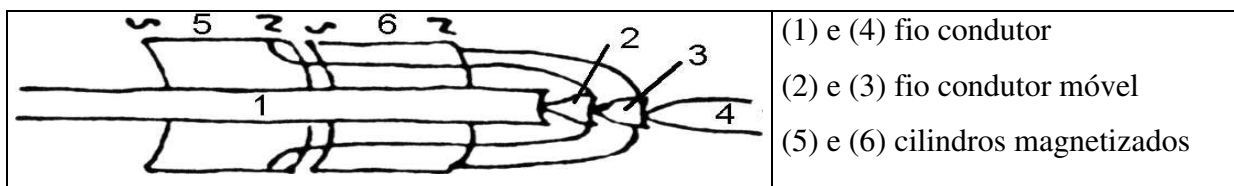
outra flutuando em mercúrio; este teria a função de conduzir a corrente entre o imã e o fio (1). O mercúrio está encerrado no tubo de vidro (b), que contém também uma rolha que fixa o fio (1). A passagem da corrente através dos fios, mercúrio e magneto, deveria fazer este girar em torno de seu eixo.

Figura 10 – Experimento X: rotação dos dois pólos do magneto ao redor do fio.



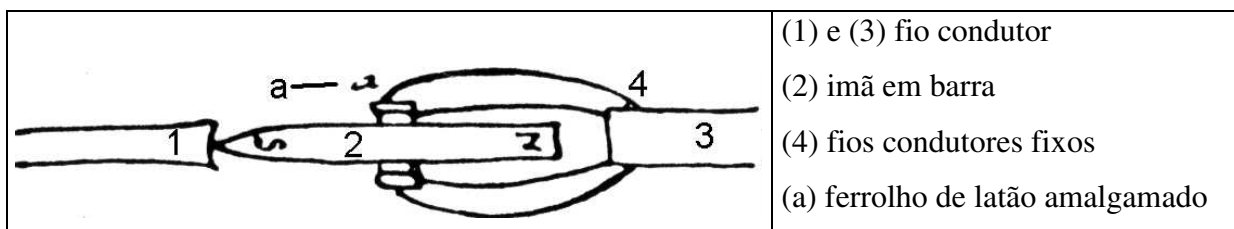
O cilindro (5) tem seu pólo norte fixo (com rolha ou similar) no fio (2) e o cilindro (6) tem seu pólo sul fixo no fio (3). Os fios (2) e (3) estão em contato móvel entre si e com os fios (1) e (4) respectivamente. A corrente passa através dos fios (dentro dos cilindros), devendo fazer esses girarem em torno dos fios (1) e (4), juntamente com os fios em que estão fixos.

Figura 11 – Experimento XI: rotação dos dois pólos do magneto, fixos como no experimento X.



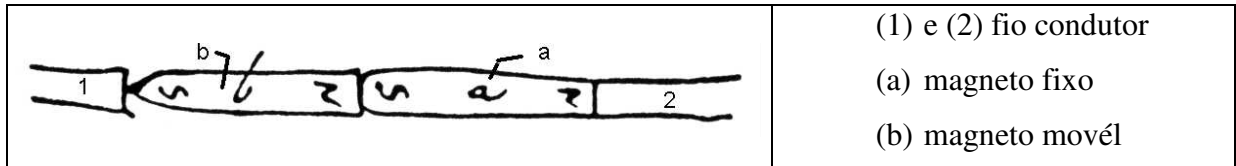
A seqüência da montagem é a mesma do experimento X. Os cilindros (5) e (6) ligados aos fios (2) e (3) respectivamente, e estes em contato móvel entre si e com os fios (1) e (4). A diferença é que os cilindros estão fixos em (2) e (3) através de fios (provavelmente não condutores), ou seja, estão como que pendurados neles. Da mesma forma que antes, a corrente passaria através dos fios, dentro dos cilindros e faria com que estes girassem juntamente com os fios (2) e (3) em que estão fixos.

Figura 12 – Experimento XII: rotação do magneto com fios fixos.



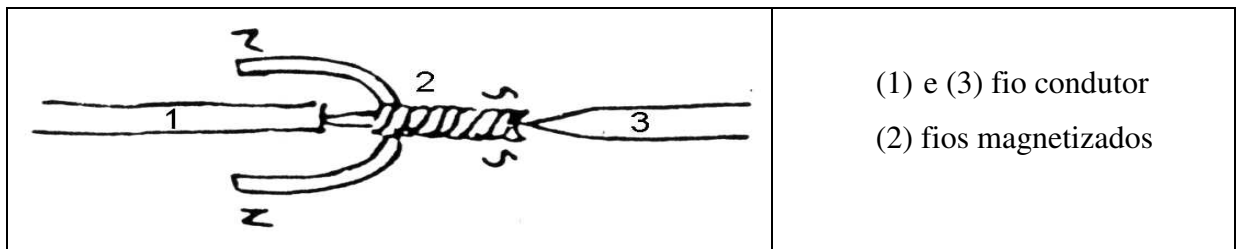
Mesma montagem do experimento VI, com a diferença dos fios (4) estarem fixos ao fio (3) e o magneto estar livre para girar. A corrente passaria pelos fios (4) ao redor do pólo Norte do magneto e seria conduzida por este até o fio (1) através do contato (a). O imã deveria girar sozinho em torno de seu próprio eixo.

Figura 13 – Experimento XVIII: rotação do magneto em torno de seu próprio eixo.



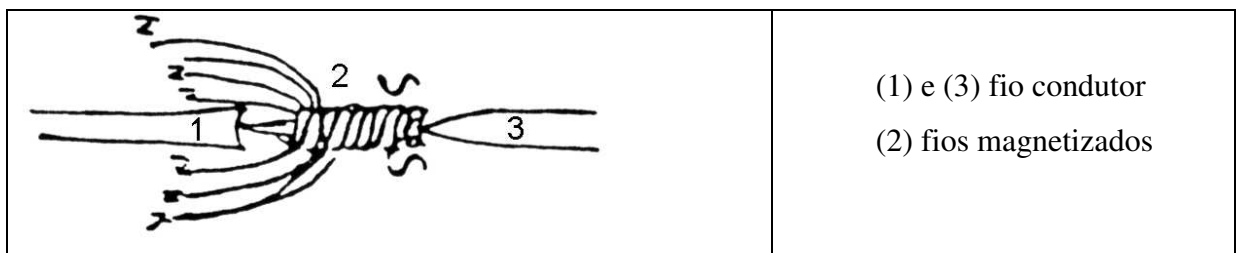
O magneto (a) tem seu pólo norte fixo no fio (2) e seu pólo sul em contato móvel com o magneto (b). Este magneto (b), com o pólo norte em contato móvel com magneto (a) e pólo sul em contato móvel com fio (1), poderia girar em torno de si mesmo com a passagem da corrente.

Figura 14 – Experimento XIX: rotação do pólo magnético ao redor do fio.



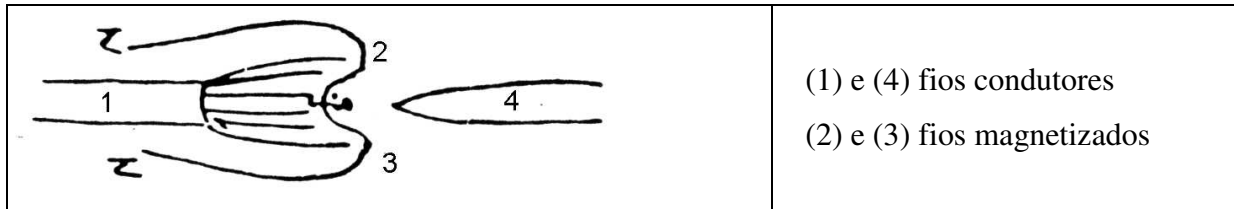
Os dois fios magnetizados (2) foram enrolados de forma que os pólos idênticos ficassem juntos. Os dois pólos sul foram então colocados em contato móvel com o fio (3) e os pólos norte foram deixados soltos e separados um de cada lado do fio (1). Com um outro fio foi feito o contato desses fios magnetizados com o fio (1) para a condução da corrente. A passagem desta faria com que os fios (2) magnetizados revolvessem.

Figura 15 – Experimento XX: mesma montagem do experimento XIX com vários fios.



A idéia seria a mesma do experimento XIX, somente acrescentando mais fios, provavelmente no sentido de intensificar a ação e obter efeitos mais contundentes.

Figura 16 – Experimento XXI: por eletricidade comum.



A corrente seria proveniente de faíscas elétricas vindas do fio (4) que seriam coletados por um arame ou similar fixo ao fio (1). A corrente gerada passaria pelos fios magnetizados (2) e (3) e fariam este rodar em torno do ponto de fixação. Os demais fios, arames ou o que seja que aparece fixo ao fio (1) parecem ter a finalidade de atrair as faíscas.

Não reproduzimos todos os experimentos dessa seqüência, mas apenas o suficiente para caracterizar a atividade de Faraday e fundamentar algumas de nossas inferências, por exemplo, que as datas apontadas em alguns experimentos evidenciam que eles não foram realizados na seqüência em que foram colocados no diário. Isto pode significar que Faraday primeiramente idealizou e registrou todos eles nos dias 18 e 19 de janeiro e conforme foi colocando-os em prática foi datando-os. No entanto, isso não nos parece muito provável, dada a quantidade de experimentos e as características de alguns que parecem ter sido elaborados em conseqüência de bons ou maus resultados de experimentos anteriores.

Parece-nos mais provável que Faraday tenha iniciado a série de experimentos em 18 de janeiro e prosseguido por vários dias, registrando os mesmos em algum lugar à parte, depois passou para o diário, um após o outro a partir do dia 18, apontando em alguns casos a data correta em que realizou o experimento.

A seqüência dos esboços encontradas no diário também nos aponta essa direção, pois a análise dos experimentos feita por Faraday, discutindo os resultados e levantando questões, apresenta a data: 21 ou 22 de janeiro de 1823.

Após realizar os experimentos III e XII, sem conseguir qualquer movimento, Faraday comenta:

Parece que a ação não considera a substância material do centro mas simplesmente a corrente de eletricidade ou o pólo magnético.... Portanto, o fio colocado para girar em volta do pólo magnético não tem tendência a reagir de modo a fazer o pólo ou ímã girar em seu eixo [Experimento VI]. Nem se o fio fosse uma série de fios ou um cilindro rodeando o pólo, haveria alguma reação desse tipo. Nem produziria o pólo alguma reação em um fio condutor fazendo-o girar, tal qual o faria girar em seu próprio eixo [Experimento VIII] (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p.93).

Com essa análise Faraday chega à conclusão de que em seus experimentos, o fio deveria girar mesmo que o ímã estivesse preso a ele, provavelmente referindo-se ao Experimento I, e também o ímã deveria mover-se em volta do fio ainda que o fio girasse com ele, provavelmente referindo-se ao experimento III. Cita ainda que experimentos como XIX deveriam dar certo. Logo na seqüência, porém, diz:

Entretanto, tais experimentos, por dependerem de reações, como I, II, III, IV, VII, X e XIII, provavelmente não podem ser obtidos com sucesso (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p.93).

Em 22 de janeiro Faraday descreve no diário duas tentativas bem sucedidas. Primeiro a rotação do fio em torno do ímã (presos juntos), talvez referindo-se aos experimentos VI e VIII, notando-se que o experimento VI data do dia 28. Depois, a rotação do pólo magnético em volta do fio. A princípio pensamos que ele se referia ao experimento X, no entanto, ele observa na seqüência que o movimento não foi melhor porque o mercúrio estava sujo e o aparelho era pequeno e fraco. Como o experimento X não incluía uso de mercúrio, concluímos que Faraday devia estar se referindo a outro experimento.

Na apresentação desses experimentos, Faraday em nenhum momento discutiu os aspectos microscópicos dos fenômenos que esperava observar, nem mesmo analisou as forças entre os pólos magnéticos e as correntes elétricas existentes nas diferentes montagens. Permaneceu o tempo todo no nível dos próprios dispositivos e dos fenômenos observados.

Frente a estes experimentos, colocamo-nos a seguinte questão: o que teria levado Faraday a retomar de forma aparentemente repentina os experimentos de eletromagnetismo e por que teria elaborado tais experimentos?

1.4 TERCEIRA FASE DE PESQUISAS: 1825 – 1832

Depois de uma pausa, Faraday voltou a publicar sobre o assunto em 1825, no *Quarterly Journal of Science*, um trabalho bem curto, onde apresentou resultados negativos de sua primeira tentativa de influenciar a intensidade de correntes elétricas através de um ímã (FARADAY, 1825). A experiência foi motivada por um raciocínio simples: assim como uma corrente elétrica produzia um forte efeito sobre um ímã, Faraday supôs que deveria existir uma “reação”, e que o ímã deveria também exercer um efeito sobre a corrente elétrica. Ele esperava que um ímã próximo a um fio deveria diminuir a corrente elétrica que passasse por esse fio.

Como a corrente elétrica [...] afeta poderosamente um ímã, tendendo a fazer seus pólos passar ao redor do fio [...] a esperança era, por várias razões, que a aproximação de um pólo de um poderoso ímã diminuiria a corrente de eletricidade [...] (FARADAY, 1825, p. 338).

O experimento consistiu em conectar os pólos de uma bateria por um fio metálico, em forma de solenóide, com a extremidade ligada a um galvanômetro. Dentro do solenóide foi inserido um ímã e procurou-se observar alguma deflexão na agulha do galvanômetro. Variou-se a força da bateria (utilizaram-se de duas a cinquenta placas de quatro polegadas), o ímã foi colocado em diferentes posições e extensões, o circuito foi feito longo, curto, com diferentes metais e vários diâmetros de fios, ímãs poderosos foram utilizados, mas nenhum efeito foi observado. Sabemos que deveria ter ocorrido algum efeito nesses experimentos (durante os instantes em que Faraday movia os ímãs), mas esses efeitos não foram observados. É interessante notar que Faraday comenta o fato como uma contribuição ao seu trabalho e de forma alguma considera aquele resultado negativo, como uma derrota.

Uma carta¹⁸ enviada a Faraday por Peter Barlow mostra que Faraday também esteve interessado nesta época nos experimentos apresentados por Arago na Academia de Ciências de Paris. As notas da sessão realizada em 7 de março de 1825, publicadas nos *Annales de Chimie*, descrevem no que consistiam os experimentos.

Em suas primeiras experiências, o Sr. Arago havia provado que uma placa de cobre ou de qualquer outra substância sólida, ou líquida, colocada abaixo de uma agulha imantada, exerce

¹⁸ *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 253, p. 368.

sobre essa agulha uma ação que tem como efeito imediato alterar a amplitude das oscilações, sem mudar sensivelmente sua duração. O fenômeno com o qual ele entreteve a Academia hoje é, por assim dizer, o inverso do anterior. Já que uma agulha em movimento é freada por uma placa em repouso, o Sr. Arago pensou que deveria seguir-se que uma agulha em repouso seria arrastada por uma placa em movimento. De fato, se fazemos girar uma placa de cobre, por exemplo, com uma velocidade determinada, sob uma agulha imantada encerrada em um vaso fechado por todos os lados, a agulha não se mantém mais na sua posição ordinária: ela se fixa fora do meridiano magnético, e tão mais longe desse plano quanto mais rápido for o movimento de rotação da placa. Se esse movimento de rotação for suficientemente veloz, a agulha, a qualquer distância da placa, gira também de um modo contínuo em torno do fio em que está suspensa (ARAGO, 1825, p.325).

Apesar de Faraday aparentemente já ter conhecimento desses experimentos, pelo menos desde maio (conforme a carta de Peter Barlow) somente em 2 de dezembro fez anotações no diário sobre a realização de experimentos semelhantes aos de Arago, intitulando-os de: “Experimentos de indução elétrica em imitação aos experimentos de Arago na rotação de ímãs”.

Antes da realização desses experimentos Faraday realizou outros em 28 de novembro de 1825: “Experimentos de indução pela conexão de fio na bateria voltaica”. Foram três experiências numeradas, nas quais Faraday tentou observar se a passagem de corrente elétrica por um fio condutor induzia uma corrente em um outro fio próximo ao primeiro. Aparentemente ele utilizou aqui a palavra “indução” em analogia ao que se observa no caso da eletricidade estática, em que a presença de uma carga elétrica induz uma carga oposta em corpos próximos. Com os poucos registros dessas experiências, pudemos resumir:

Experiência I: paralelo a um fio conectado aos pólos de uma bateria, estava um segundo fio ligado a um galvanômetro (os dois estavam separados apenas por folhas finas de papel). Experiência II: os pólos da bateria foram conectados a um solenóide e foi introduzido neste um fio estreito com as extremidades ligadas a um galvanômetro. Experiência III: os pólos da bateria foram conectados por um fio estreito, com um solenóide, e as extremidades deste foram ligadas ao galvanômetro. Nenhuma indicação foi obtida no galvanômetro em nenhuma das experiências.

Percebemos que, neste período, Faraday estava ativamente buscando a descoberta de um novo fenômeno: a produção de correntes elétricas pelo magnetismo ou por outras correntes elétricas, mas não conseguiu resultados positivos. Durante os anos seguintes, ele vai afastar-se totalmente das pesquisas eletromagnéticas, como mostra a ausência completa desse assunto em seu diário de laboratório e em suas publicações. Porém, um registro no diário, realizado em 22 de abril de 1828, mostra que Faraday não tinha abandonado sua busca.

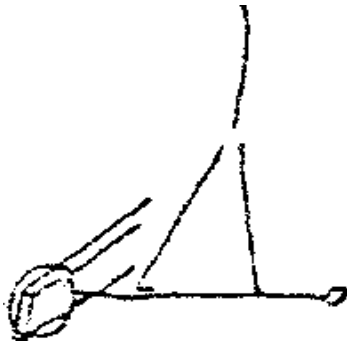


Figura 17 – Anel de cobre suspenso: procurando produção de corrente pelo magnetismo.

Nesta anotação ele descreve um experimento em que fez um anel com fio de cobre (soldando suas extremidades) e fixou-o com um pedaço de fio para sustentá-lo com numa balança de torção (ver figura ao lado). Introduziu no anel o pólo de um ímã em barra, depois aproximou outros ímãs em diferentes posições e não observou nenhum efeito. Aproximou um ímã em forma de ferradura do fio, conectando seus pólos, mas esse circuito fechado também não apresentou efeito algum. Repetiu o experimento torcendo as extremidades do fio para formar o anel

(no lugar da solda) e usando platina e prata no lugar de cobre. Não obteve resultados.

Faraday não explicou o que o levou a esse experimento, mas podemos reconstruir seu raciocínio da seguinte forma: ele deve ter imaginado que o ímã poderia induzir uma corrente elétrica no anel de cobre e que essa corrente elétrica, interagindo com o ímã, produziria uma atração ou repulsão que poderia ser observada facilmente com a balança de torção, mesmo se a força fosse pequena. A substituição do cobre por prata e ouro deve ter sido motivada pelo desejo de reduzir a resistência elétrica e obter um efeito mais forte.

Foi um experimento isolado em meio a suas experiências de Química e o resultado negativo parece não tê-lo motivado a prosseguir naquele momento. Uma nova fase de pesquisas sobre eletromagnetismo se iniciou somente em 1831, quando Faraday encontrou o que parece ter buscado desde o final de 1825: a Indução Eletromagnética.

Em suas anotações no Diário, Faraday numerou todos os parágrafos e ilustrou algumas montagens com esboços esquemáticos. O padrão de numerar os parágrafos foi mantido na publicação de um artigo contendo suas principais descobertas. Este artigo (dividido em quatro partes ou séries) foi transcrito posteriormente, no livro *Experimental researches in electricity*, e a primeira série inicia-se com uma introdução onde Faraday aponta suas considerações iniciais :

Essas considerações, com suas conseqüências, a esperança de obter eletricidade do magnetismo comum, estimulou-me várias vezes a investigar experimentalmente o efeito indutivo das correntes elétricas. Eu, ultimamente, cheguei a resultados positivos; e não apenas tive minhas expectativas realizadas, mas obtive a chave que parece abrir várias explicações dos fenômenos magnéticos de Arago e, também, descobrir um novo estado que pode, provavelmente, ter influência em alguns dos mais importantes efeitos das correntes elétricas (FARADAY, 1839-1855, p.265).

Procuramos seguir a seqüência do diário, fazendo uma correspondência com o *Experimental researches in electricity* e estudos de alguns historiadores, buscando compreender como se desenrolou essa fase da pesquisa até a formulação da Lei da Indução.

O Diário de Faraday não dá nenhuma indicação do motivo pelo qual ele iniciou os novos experimentos, depois de tantas tentativas fracassadas. Do início de 1831 a julho do mesmo ano, Faraday estudou figuras acústicas em sólidos e líquidos (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p.329-359). Em maio ele retornou rapidamente ao estudo do efeito termoelétrico, e nos dias 18 e 19 de agosto de 1831 ele estava dedicando-se a experimentos sobre elaboração de chapas de cobre para impressão de figuras (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 320).

Sem nenhuma explicação prévia, nas anotações relativas ao dia 29 de agosto de 1831, Faraday começa por descrever um anel de ferro doce que construiu para o experimento e foi preservado até hoje, como mostra a figura 18.



Figura 18 – Foto do anel de ferro, utilizado nas experiências de 1831.

Foi feito um anel de ferro [ferro doce] circular, com 7/8 de polegada de espessura e 6 polegadas de diâmetro externo. Várias espiras de fio de cobre foram enroladas ao redor de uma metade do anel, as espiras sendo separadas por barbante e algodão – existiam três extensões de fio, cada um com aproximadamente 24 pés de comprimento e eles poderiam ser ligados como uma só extensão ou usados como pedaços separados, cada um isolado do outro. Chamarei este lado do anel de A. No outro lado, mas separado por um intervalo, foram enrolados fios em dois pedaços juntos, contabilizando aproximadamente 60 pés em comprimento, a direção sendo como das primeiras

espiras; este lado chamarei B (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 367).

Faraday acreditava que a passagem de corrente elétrica em um dos enrolamentos poderia induzir uma corrente elétrica no outro enrolamento. Os dois enrolamentos do lado B foram unidos para formar um único, e sua extremidade foi conectada a um fio de cobre passando sobre uma agulha magnética a uma distância de 3 pés do anel. Deste modo, a agulha ao mover-se indicaria a passagem de uma corrente pelo lado B do anel.

Uma das espiras do lado A foi conectada com uma bateria de 10 pares de placas, de 4 polegadas quadradas e, com a passagem da corrente pelo lado A, vinda da bateria, uma corrente foi detectada no lado B do anel.

Imediatamente um efeito sensível apareceu na agulha. Esta oscilou e estabeleceu-se por fim na posição inicial. Quebrando a conexão do lado A com a bateria, novamente houve uma perturbação na agulha (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 367).

Faraday havia encontrado um efeito e, para confirmá-lo, juntou as extremidades das espiras do lado A em um enrolamento único e conectou com a bateria. Um efeito ainda mais forte foi observado na agulha. A corrente somente surgia em B imediatamente após conectar o lado A com a bateria ou imediatamente ao desconectá-lo. Quando a corrente estava fluindo continuamente no lado A, nada ocorria no lado B.

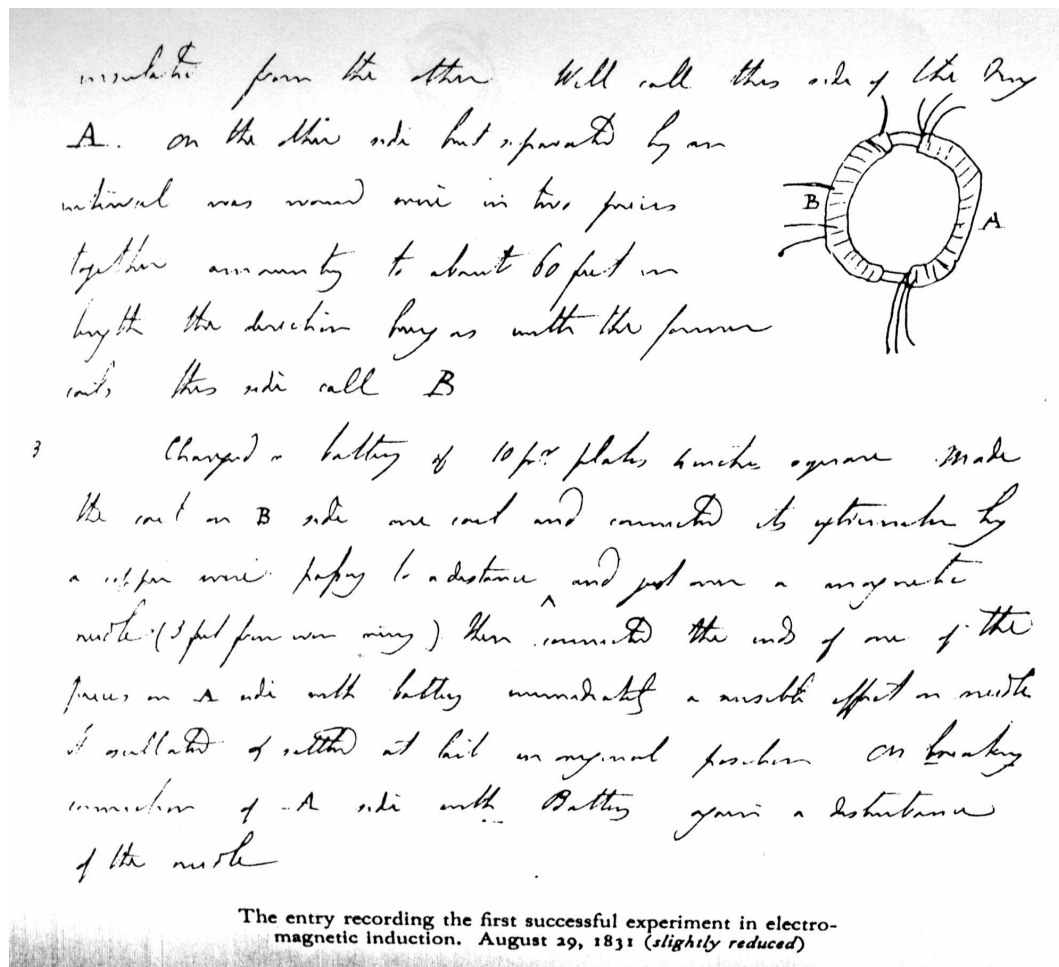


Figura 19 – Reprodução das anotações de Faraday no diário, do dia 29 de Agosto de 1831.

Faraday fez em seguida uma modificação para tornar ainda mais evidente a presença de corrente no lado B do anel. Substituiu o fio saído do lado B por uma espira achatada [hélice chata], colocando-a no plano do meridiano magnético a oeste do pólo sul da agulha. Ao conectar o lado A com a bateria, a espira atraiu fortemente a agulha, e quando se quebrou a conexão, a agulha foi fortemente repelida.

Com isso Faraday percebeu que, ao iniciar o contato com a bateria, a corrente que surgia em B parecia ter a mesma direção daquela que fluía em A; no entanto, ao romper o contato, o movimento da agulha indicava a existência momentânea de uma corrente na direção oposta.

O princípio é aquele dos modernos transformadores de corrente alternada [...] Apesar de não ter reconhecido como tal, Faraday fez o primeiro transformador estático (MARTIN, 1949, p. 54).

No primeiro experimento, Faraday relatou que o efeito no enrolamento B só surgia quando a corrente elétrica no enrolamento A se iniciava ou era interrompida. Estaria ele procurando um efeito temporário, ou estaria ele procurando um efeito permanente (que durasse enquanto a corrente elétrica fluísse através de A)? É difícil saber o que ele estava procurando. Parece mais plausível que ele estivesse procurando um efeito permanente, mas que notou, contrariamente às suas expectativas, que o efeito era de curta duração.

Na seqüência do mesmo dia (29 de agosto de 1831) Faraday procurou por alguma evidência de ação química, colocando dois pólos de platina na extremidade do enrolamento B e mergulhando estes em uma solução de sais de cobre, estanho etc. (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 368). Nenhum resultado favorável foi obtido, nem mesmo com variações desta configuração original.

No dia seguinte, 30 de agosto, Faraday fez outras experiências. Ele tentou novamente usar uma hélice chata, junto com uma agulha indicadora, alternando o fechar e abrir o contato do lado B com a hélice e mantendo o contato do lado A com a bateria, mas não pôde observar nenhum efeito sobre a agulha.

Depois, colocando carvão no lado B do arranjo, tentou perceber alguma fagulha com a passagem da corrente induzida. Segundo o diário¹⁹ nada foi observado, porém, no *Experimental researches in electricity*²⁰, ele diz que uma faísca pôde ser percebida quando se completou o contato da bateria com o lado A, embora raramente fosse observada na quebra do contato.

¹⁹ FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 369, parágrafo 15.

²⁰ FARADAY, 1839-1855, p. 269, parágrafo 32.

Esses desencontros de informações entre o artigo e o relato do diário nos parecem devidos ao fato de o artigo ter sido escrito depois que Faraday repetiu esses experimentos várias vezes, acrescentando e alterando elementos das configurações inicial das montagens e, provavelmente, obtendo resultados diferentes dos iniciais. Nesse caso específico, ao escrever o artigo, Faraday optou por descrever a montagem que resultou em sucesso, como será citado adiante.

Os experimentos em que procurou obter efeitos químicos e fagulhas parecem indicar que Faraday estava tentando verificar se o efeito obtido era realmente elétrico (como a corrente obtida através de uma pilha) ou de algum outro tipo. A corrente produzida por uma pilha produz decomposição de substâncias (por eletrólise) e pode produzir pequenas faíscas. Não tendo obtido efeitos semelhantes com seus experimentos, Faraday pode ter suspeitado que se tratava de algo semelhante mas não idêntico à corrente elétrica de uma pilha. Afinal a descarga de uma garrafa de Leyden produz faíscas mas não produz eletrólise. Uma pilha elétrica com poucos elementos produz eletrólise e não produz faíscas.

Outras experiências foram tentadas no dia 30 de agosto, sempre com resultados de mesmo caráter, ou seja, só ocorrendo quando se estabelecia ou se interrompia a conexão com a bateria. Isso levou Faraday à seguinte indagação:

Não poderiam esses efeitos temporários estar conectados com as causas da diferença entre os efeitos de metais em repouso e em movimento, nos experimentos de Arago? (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 369).

Faraday parece ter começado a entender que o disco estacionário, nos experimentos de Arago, não poderia produzir qualquer efeito sobre o magneto, sendo esses efeitos indutivos como no experimento do anel e, portanto, obtidos somente quando o disco estava em movimento relativo ao ímã. Ao entender isso de forma clara, posteriormente, Faraday acabaria por utilizar os discos rotatórios para produzir corrente contínua através da indução eletromagnética.

Ainda no dia 30 de agosto, Faraday obtém os mesmos efeitos obtidos anteriormente com o anel, utilizando somente um cilindro de ferro de $7/8$ de espessura e 4 polegadas de comprimento, rodeado por quatro pedaços de fio [cada um com 14 pés de comprimento]. Dois deles foram conectados dentro de uma hélice e os outros dois fios dentro de outra hélice; uma dessas hélices foi conectada a uma espiral chata e a agulha foi conectada à bateria. A agulha

sofreu um rápido desvio, não tão forte como antes, mas o suficiente para concluir que o anel não era necessário.

Faraday aproximou ímãs fortes da extremidade do cilindro de ferro e não obteve qualquer efeito observável; concluiu, assim, que “*todos os efeitos parecem ser devidos somente à corrente elétrica*” (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p.369). No entanto, Faraday não estava seguro sobre isso, pois um mês depois fez vários experimentos em que tentava obter algum efeito colocando um ímã em contato com enrolamentos de diversas formas diferentes (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 371).

Em 23 de setembro de 1831, Faraday escreve²¹ a seu amigo R. Phillips contando que havia voltado a se ocupar com o eletromagnetismo e que tinha uma idéia, embora ainda não a pudesse confirmar, de que sabia por que metais eram magnéticos quando em movimento, apesar de não o serem [geralmente] quando em repouso. Evidentemente, essa idéia, baseada nos seus experimentos e suposições encadeadas em 30 de agosto, continuava a motivar Faraday em suas atividades e certamente direcionou alguns dos experimentos seguintes.

Em 24 de setembro, Faraday faz diversas tentativas, utilizando dez enrolamentos e hélices diferentes, identificadas por letras de A até L. Em uma delas, ele utilizou o arranjo H: uma dupla espiral chata de fio de ferro, coberto com algodão, de aproximadamente 18 pés de comprimento.

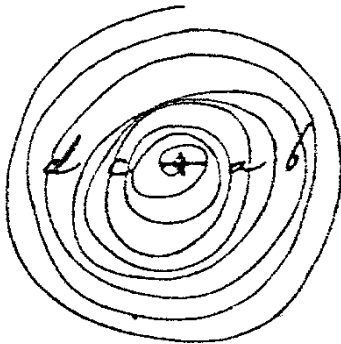


Figura 20 – Arranjo H: interpretações sobre o comportamento microscópico das partículas.

Quando levada [a espiral] na direção do pólo da agulha, concêntrica a esta, o pólo parecia ser repellido na direção da extremidade em qualquer direção vinda de [+]. O fato do pólo da agulha induzir magnetismo no fio não poderia ser mais eficiente em [a] do que em [+], e melhor em [b] do que em [a]; pólos opostos sem dúvida sendo formados em [c] e [d]. Seria o mesmo com uma placa contínua, como também com uma hélice chata. Evidentemente, portanto, que a ação magnética tende a arranjar as partículas longitudinalmente na direção de seu próprio eixo, e ela mesma é poderosamente arranjada pelos arranjos prévios das partículas de ferro – importante influência, portanto, exercida (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 371).

²¹ *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 515, p.579.

Faraday comentou as particularidades dos tópicos que estava estudando, que hoje são bastante conhecidas mas, naquele momento, estavam apenas se firmando como as propriedades do fenômeno.

Algumas tentativas apresentaram resultados positivos e outras não demonstraram qualquer evidência de ação indutiva ou, talvez, alguns arranjos não tivessem sensibilidade suficiente para detectar correntes fracas, como foram as produzidas naqueles experimentos.

Ele segue fazendo experimentos com a dupla hélice H e depois a substitui por outros arranjos até chegar ao último experimento relatado naquele dia. Neste utilizou um cilindro de ferro (que não tinha sido utilizado nos experimentos daquele dia) e a hélice L [o pequeno cilindro de ferro de 7/8 de espessura e 4 polegadas de comprimento, envolvido com quatro pedaços de fio de 14 pés de comprimento cada].

Todos os fios foram unidos em uma única hélice e conectados à hélice indicadora, a distância, pelo fio de cobre: depois o ferro foi colocado entre os pólos da barra magnética, como em um dos primeiros experimentos e na figura ao lado. Toda vez que o contato magnético no norte ou sul foi estabelecido ou quebrado, existiu movimento magnético na hélice indicadora, o efeito sendo como nos primeiros casos, não permanente, mas meramente empurrando ou puxando. Mas, se o contato elétrico (isto é, através do fio de cobre) era quebrado, então as disjunções e contatos não produziram qualquer efeito. Assim, distinta conversão de magnetismo em eletricidade (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 372).



Figura 21 – Pinça formada por dois ímãs: obtenção de corrente induzida pela ação de um ímã permanente.

Este último experimento do dia foi um grande sucesso, pois Faraday obteve (pela primeira vez) corrente elétrica induzida pela ação de um ímã permanente, produzindo através desse dispositivo uma rápida variação magnética no cilindro de ferro. Nenhuma bateria foi utilizada. A “pinça” formada pelos dois ímãs produzia o efeito desejado.

O que guiou esse experimento? Aparentemente Faraday imaginou que era necessária alguma variação magnética brusca para produzir o efeito, já que nos experimentos com eletro-ímãs apenas conseguia observar efeitos quando a corrente elétrica era iniciada (ou interrompida). O sistema utilizado nesse experimento consiste em um “anel” triangular de ímãs permanentes; estabelecendo (ou rompendo) o contato físico entre eles, ele produzia uma variação magnética brusca no cilindro central.

Após os resultados de 24 de setembro, Faraday parece ter ficado em dúvida sobre a causa dos fenômenos. Nos experimentos iniciais com o anel, havia uma corrente elétrica que produzia um efeito no segundo enrolamento. No último experimento descrito acima, o efeito era produzido apenas por uma variação magnética. Seriam dois fenômenos diferentes? Seria possível obter algum efeito sem a presença de um núcleo de ferro?

Ele confirmou essa hipótese com experimentos realizados no dia 29 de setembro, nos quais, pela primeira vez, utilizou a expressão “efeito induzido” para descrever o fenômeno. Uma corrente elétrica que produz uma outra corrente elétrica em um fio próximo é um fenômeno que parece análogo à indução de uma carga elétrica por uma carga elétrica próxima, e foi provavelmente essa analogia que surgiu na mente de Faraday, levando-o à escolha desse termo.

No artigo, Faraday utilizou a expressão “Indução de Correntes Elétricas” como título da seção em que descreveu esses experimentos, e logo depois de apresentar o experimento bem sucedido comentou:

Os resultados que eu havia obtido nessa época com ímãs, levaram-me a acreditar que a corrente da bateria através de um fio induzia realmente uma corrente semelhante através do outro fio, mas que ela continuava apenas durante um instante, e tinha a mesma natureza da onda elétrica que passa através do choque de uma garrafa de Leyden, e não como a corrente de uma bateria voltaica, e por isso poderia magnetizar uma agulha de aço, embora afetasse pouco o galvanômetro (FARADAY, 1839-1855, p. 266).

No início do séc. XIX havia uma distinção bastante complexa entre eletricidade voltaica, eletricidade comum (produzida por atrito) e eletricidade animal (ou galvânica), como eram comumente classificadas as manifestações elétricas conhecidas. Procurava-se por experimentos que confirmassem esses fenômenos como tendo mesma identidade elétrica. Assim, os diversos experimentos de Faraday procurando obter determinadas evidências (como a decomposição química, por exemplo) tinham esta finalidade: confirmar os efeitos obtidos como fenômenos elétricos ou magneto-elétricos.

Voltando a utilizar o anel de ferro de 29 de agosto, Faraday consegue finalmente uma confirmação. Obteve uma fagulha no circuito secundário do anel (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 373) e a aceitou como uma forte evidência de que a eletricidade era idêntica à eletricidade obtida com uma pilha ou uma máquina de fricção.

Em sua última frase da primeira seção (“Indução de Correntes Elétricas”) do artigo transcrito no *Experimental researches in electricity*, Faraday diz:

Conseqüentemente, é evidente que correntes de eletricidade voltaica apresentam fenômenos de indução análogos àqueles produzidos pela eletricidade de tensão, apesar de que, como será visto daqui por diante, existem várias diferenças entre elas. O resultado é a produção de outras correntes (mas que são apenas momentâneas) paralelas, ou tendendo ao paralelismo, com a corrente indutora. Tendo por referência os pólos das agulhas estabelecidos nas hélices indicadoras e a deflexão da agulha do galvanômetro, foi encontrado em todos os casos que a corrente induzida, produzida pela primeira ação da corrente indutora, foi na direção contrária da última, mas que a corrente produzida pelo cessar da corrente indutora foi na mesma direção. Com o propósito de evitar confusões, eu proponho chamar essa ação da corrente da bateria voltaica, indução volta-elétrica. As propriedades do segundo fio, após a indução ter desenvolvido a primeira corrente e, enquanto a eletricidade da bateria continuar a fluir através de sua indução vizinha, constitui uma condição peculiar da matéria, a condição que irá ser retomada adiante (FARADAY, 1839-1855, p. 269).

Essa condição peculiar da matéria foi chamada por Faraday “estado eletrotônico”, sendo abordada com detalhes na terceira parte do artigo: § 3. “Novo Estado Elétrico ou Condição da Matéria”, ao qual retornaremos adiante. Agora vamos apresentar nosso estudo do trabalho de Faraday na tentativa de produção de correntes através da movimentação de ímãs.

Nesse momento, Faraday já estava ciente de que era possível produzir correntes elétricas tanto a partir de uma outra corrente elétrica (a indução volta-elétrica) como pela variação magnética brusca (no experimento com a “pinça” formada por dois ímãs). Embora ele já tivesse tentado obter efeitos pela aproximação e afastamento de ímãs, não tinha obtido resultados, mas tais efeitos deviam existir. Por isso ele insistiu e no dia 17 de outubro Faraday realizou o seu experimento mais conhecido, aquele da indução de corrente, somente movimentando uma barra magnética dentro de uma bobina.

A descrição dada no diário fala de um cilindro de papel, oco, coberto por 8 enrolamentos [todos com mesma direção] de fio de cobre, com aproximadamente 220 pés de comprimento, separados por algodão – identificado como “arranjo O”.

As oito extremidades das hélices, em uma extremidade do cilindro, foram limpas e rapidamente juntadas como um feixe. O mesmo foi feito na outra extremidade. Essas

extremidades compostas foram conectadas a um galvanômetro por longos fios de cobre, como vemos na foto a seguir.

Depois um ímã cilíndrico, de 3/4 de polegadas de diâmetro e 8 1/2 polegadas de comprimento, teve uma extremidade inserida dentro da hélice – depois foi rapidamente empurrada em todo seu comprimento, e a agulha do galvanômetro moveu-se – depois, foi empurrada para fora e novamente a agulha moveu, mas em direção oposta. Este efeito se repetiu todas as vezes que o ímã era colocado dentro ou retirado e portanto uma onda de eletricidade foi assim produzida pela mera aproximação de um ímã e não por sua formação *in situ* (FARADAY in MARTIN, 1932-1936, p. 375).

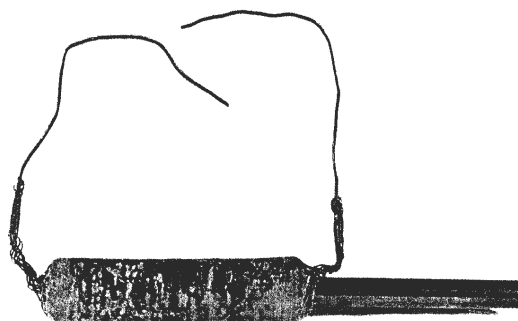


Figura 22 – Foto do cilindro de papel e do ímã em barra, utilizados no famoso experimento de 17 de outubro de 1831.

Ou seja, o princípio descoberto era que o movimento de um ímã gera uma corrente elétrica no condutor. Este princípio evoluiu (por uma longa história) até chegar aos modernos geradores elétricos. E, não somente essa, mas a importância das diversas conseqüências vindas desta descoberta de Faraday é inquestionável.

A frase final da citação acima parece indicar que Faraday estava tentando verificar se poderia existir uma diferença entre a *formação* de um campo magnético e a sua *variação* e o experimento indicava que nos dois casos ocorria o mesmo tipo de efeito.

No artigo, Faraday acrescenta uma instrução para este experimento.

Neste experimento o ímã não deve ser passado inteiramente através da hélice, porque então corre uma segunda ação. Quando o ímã é introduzido a agulha do galvanômetro é defletida em uma certa direção; mas estando dentro, se este for totalmente empurrado ou puxado, a agulha é defletida na direção contrária da inicial. Quando o magneto é passado através da hélice, em um movimento contínuo, a agulha move-se de um modo e depois subitamente pára e, finalmente, move-se para o outro lado (FARADAY, 1839-1855, p. 271).

No mesmo artigo, em uma nota transcrita no *Experimental researches in electricity*, Faraday sugere uma regra para determinar a direção da corrente induzida por imã. Uma versão do que hoje conhecemos como a “regra da mão direita”.

A posição relativa de uma corrente e um imã é, por muitas pessoas, difícil de ser lembrada, e três ou quatro ajudas para a memória tem sido apontadas por M. Ampère e outros. Eu aventuro-me a sugerir o seguinte, como uma assistência simples e efetiva nestas e outras situações similares. Deixe o experimentador pensar que está olhando para baixo sobre a agulha mergulhada, ou sobre o pólo magnético da Terra, e depois deixe-o pensar sobre a direção dos ponteiros de um relógio, ou de um parafuso movendo direito; correntes naquela direção ao redor de uma agulha fariam este [parafuso] entrar como um imã, como a agulha mergulhada, ou ela mesma constituiria um eletromagneto de qualidades similares. [...] Estes dois pontos, a posição da agulha mergulhada e a noção de ponteiros de relógio sendo lembrados, qualquer outra relação da corrente e imã pode ser, portanto, deduzida deste (FARADAY, 1839-1855, p. 270).

Faraday realiza outros experimentos, testando várias possibilidades sobre a natureza da corrente, sobre a indução de correntes contínuas, sobre a utilização de um forte imã natural e sobre o fenômeno magnético de Arago. Uma carta²² escrita para Richard Phillips em 29 de novembro de 1831 aborda os principais experimentos através da apresentação de um resumo do artigo, explicando separadamente cada uma das quatro partes e apresentando os principais resultados. Ao abordar o § 1. “Indução de Correntes Elétricas”, após uma descrição sobre as conseqüências da passagem de corrente em fios paralelos, Faraday conclui:

Eletricidade em correntes, portanto, exerce uma ação indutiva parecendo eletricidade comum, mas sujeita a leis peculiares: os efeitos são uma corrente na mesma direção quando a indução é estabelecida, uma corrente reversa quando a indução cessa e um peculiar estado durante (FARADAY in JAMES, 1991, p. 589).

Faraday acrescenta que eletricidade comum (descarga elétrica produzida com uma garrafa de Leyden) deveria fazer a mesma coisa, embora ele não pudesse obter a prova, porque a descarga é tão rápida que o efeito inicial e o final se cancelariam.

Para exemplificar o assunto do § 2. “Da evolução da eletricidade para o magnetismo”, Faraday fala das correntes induzidas com a utilização de imãs, correntes momentâneas que

²² *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 522, p. 589.

tinham sua direção revertida quando o ímã era removido. Faraday distingue os dois tipos de indução por volta-elétrica e magneto-elétrica e diz acreditar que os resultados e a identidade de ação obtidos eram uma prova da teoria de Ampère do magnetismo.

Sobre a terceira parte, tratando do novo estado elétrico da matéria, Faraday diz que havia conversado com pessoas entendidas do assunto, para escolha do nome: “estado eletrotônico”, e diz que estas novas condições elétricas seriam a resposta para explicar as transformações de uma pilha em decomposição e outras ações químicas, mas não entra em detalhes. Faraday não tenta explicar o que seriam estas novas condições ou novo estado elétrico da matéria, dando a Phillips apenas uma idéia do que este estado poderia explicar quando assumido. É uma pena que ele não tenha apresentado esse conceito em detalhe na carta, pois poderia ajudar a compreender essa difícil idéia.

No resumo do § 4. “Explicação do Fenômeno Magnético de Arago”, Faraday alertou Phillips de que talvez ele não acreditasse na descoberta, mas que os resultados apontavam que não havia atração ou repulsão e, sim, as velhas rotações em nova forma. Tendo assumido a existência do estado eletrotônico, ocorria que as correntes existiam enquanto o movimento da placa em relação ao ímã (ou vice-versa) era mantido, desaparecendo tão logo o movimento cessava. Isso explicava o efeito que Arago havia obtido, com a correção de que a força era tangencial e não repulsiva como acreditava Arago.

Finalizamos o capítulo com a formulação da Lei da Indução, como proposta por Faraday:

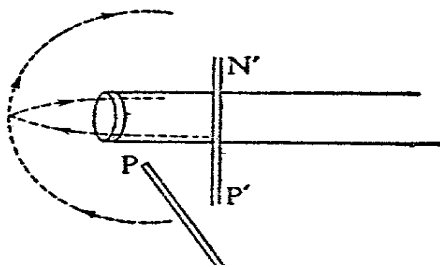


Figura 23 – Esquema para explicar o fenômeno da indução eletromagnética.

Se na prancha II, [figura ao lado], PN representa um fio horizontal passando por um pólo magnético marcado, tal que a direção de seu movimento coincida com a linha curva procedente de baixo para cima; ou se seu movimento paralelo a si mesmo for em uma linha tangente à linha curva, mas na direção geral das setas; ou se ele passar pelo pólo em outras direções, mas de tal forma a cortar as curvas magnéticas na mesma direção geral, ou do mesmo lado que elas seriam

cortadas pelo fio se ele se movesse ao longo da linha curva pontilhada – então a corrente de eletricidade no fio é de P para N. Se ele for carregado nas direções inversas, a corrente elétrica será de N para P. Ou se o fio estiver na posição vertical, indicada por P’N’, e for carregado em direções semelhantes, coincidindo com a curva horizontal pontilhada de modo a cortar as curvas magnéticas do mesmo lado que ele, a corrente será de P’ para N’. Se o fio for considerado como tangente à superfície curva do ímã cilíndrico, e for carregado em torno daquela superfície em

qualquer outra posição, ou se o ímã girar em torno de seu eixo, de modo a trazer qualquer parte oposta para o fio tangencial – mesmo assim, se depois o fio for movido nas direções indicadas, a corrente de eletricidade será de P para N; ou se for movido na direção oposta, de N para P; de tal modo que em relação aos movimentos do fio passando pelo pólo, eles podem ser reduzidos a dois, diretamente opostos um ao outro, um dos quais produz uma corrente de P para N, e o outro de N para P (FARADAY, 1839-1855, p. 281).

Desta forma, parece extremamente difícil entender as regras que regem a indução. Hoje, temos expressões mais simplificadas e talvez, mais acessíveis, utilizando um formalismo matemático que torna mais concisa a expressão dessas relações.

O trabalho realizado por Faraday no final de 1831 complementou a descoberta do eletromagnetismo por Ørsted, mostrando a existência de um fenômeno inverso (produção de efeitos elétricos pelo magnetismo) e fornecendo a base necessária para o desenvolvimento de uma nova área de pesquisas.

Nossa pretensão com esse capítulo foi fornecer dados para a discussão de questões sobre as características da experimentação que acreditamos irá nos ajudar no entendimento do dinamismo presente nos cursos de laboratório e questões pertinentes à própria trajetória de Faraday, que pode ter semelhanças com aquelas seguidas pelos alunos. Por exemplo: como se deu a passagem de Faraday, de assistente em experiências sobre eletromagnetismo para elaborador da Lei da Indução Eletromagnética?

2. UM OLHAR SOBRE OS CURSOS DE FÍSICA EXPERIMENTAL

Um argumento frequentemente utilizado para justificar a programação ou a realização de aulas de laboratório, no ensino de Física, é que as manipulações técnicas que nelas têm lugar são importantes para o aprendizado da Física na medida em que constituem o requisito fundamental de toda pesquisa experimental, que por sua vez é uma parte importante de toda investigação científica. Nesta linha, as experimentações têm por finalidade, tanto pelo conteúdo de que se valem como pelos seus resultados, levar os alunos a reconhecer na experimentação uma parte do seu processo de iniciação à Ciência.
(Kishinami, 1982)

A necessidade da experimentação no processo de aprendizagem das Ciências está amplamente justificada nas pesquisas em Ensino de Ciências e dispomos de abundante literatura argumentando favoravelmente à prática experimental. Não é nossa pretensão ampliar essa argumentação, mas apenas juntar elementos à discussão sobre a qualidade e as alternativas para a prática efetiva da experimentação no âmbito do Ensino Superior da Física.

Sabemos que a experiência com as práticas experimentais que os alunos passam nos laboratórios didáticos no Ensino Superior se refletem em suas atividades futuras, que, não raro, incluem a docência no Ensino Médio. Isto significa que, embora enfoquemos neste estudo o Ensino Superior, teremos sempre no horizonte a perspectiva de seus reflexos no Ensino Médio e esperamos trazer alguns elementos que possam contribuir para a prática experimental nestes diferentes níveis do ensino das Ciências.

Conduzimos nossa discussão sobre a experimentação a partir das disciplinas de Física Experimental que são oferecidas nos cursos de graduação em Física na Universidade de São Paulo, considerando que a análise poderá ser estendida para cursos de outras instituições, visto não diferirem muito dos aqui enfocados.

Neste capítulo pretendemos inicialmente discutir as características gerais das disciplinas de Física Experimental; na seqüência apresentaremos a metodologia de pesquisa que utilizamos para conhecer com maior profundidade a disciplina Física Experimental VI, oferecida pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo, e depois as características particulares do grupo e da disciplina pesquisada.

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS LABORATÓRIOS DIDÁTICOS

As disciplinas experimentais na grande maioria das universidades públicas nacionais possuem um formato padronizado. Trata-se de cursos onde o estudante recebe uma apostila, contendo ilustração da montagem experimental, procedimentos, objetivos e discussão teórica sobre os conceitos envolvidos na experiência a ser realizada. O trabalho dos estudantes consiste em reproduzir no laboratório a experiência descrita na apostila, coletar dados para montagem de tabelas e/ou gráficos e, posteriormente, redigir um relatório que discuta se os dados obtidos atendem ou não ao que a teoria sobre o assunto previa; *“não raro, quando existe a negativa, afirma-se que o experimento deve ser repetido até que se consiga o resultado adequado”* (SILVA, 2002, p. 472).

O autor citado salienta que esse formato das disciplinas experimentais tem sido muito criticado e seu real benefício ao processo de aprendizado dos estudantes questionado, pois essa concepção das práticas de laboratório como mera ilustração da teoria faz com que *“os experimentos realizados adquiram uma orientação rígida e dogmática, na qual o critério de verdade é por excelência o da autoridade da teoria, do docente e do livro-texto”* (SILVA, 2002, p. 472).

Outro ponto bastante discutido são os instrumentos e equipamentos disponíveis para realização das experiências; por um lado, defende-se a automatização e o acompanhamento do desenvolvimento tecnológico; por outro, mostra-se que freqüentemente os aparatos experimentais são incompreensíveis para o estudante que, não conhecendo e não dominando os equipamentos, não compreende adequadamente a experiência que realiza e tampouco consegue interpretar os dados que obtém. Isso contribui para o aumento da complexidade da experiência e resulta nos jargões freqüentemente encontrados nos relatórios, do tipo *“o experimento mostrou-se de acordo com a teoria”*, conclusões que pouco revelam sobre uma aprendizagem real do aluno.

Enfocando a disciplina Laboratório de Eletromagnetismo, a primeira disciplina experimental da parte específica que os estudantes dos cursos de Física realizam, SILVA (2002, p. 471) ressalta que *“os experimentos geralmente apresentam um maior grau de complexidade em relação aos experimentos das disciplinas básicas”* e, citando Gonzales e Villani & Barolli, alerta que *“esta escolha de maior complexidade neste ponto do curso baseia-se na hipótese, nem sempre correta, de que o grau de maturidade e entendimento do estudante podem alcançar esta complexidade. Esta é uma questão que merece cuidado, pois*

corremos o risco de colocar o estudante em um emaranhado experimental, contribuindo para afastar dele o entendimento mais profundo sobre os conceitos que queremos trabalhar” (SILVA, 2002).

Não desmerecemos o aprendizado de técnicas de medição, tratamento estatístico de dados, confecção de relatórios ou mesmo de demonstração de conceitos e leis físicas, mas acreditamos que o laboratório didático pode e deve ir além desses objetivos, dando oportunidade aos estudantes de discutirem a natureza da Física enquanto ciência, explorar a relação entre a realidade e a sua descrição, explorar a formação de valores e de ética que a atividade coletiva e o desenvolvimento científico propiciam, além do desenvolvimento de habilidades experimentais, de cooperação e integração.

Estes objetivos parecem encontrar ressonância em uma das tendências decorrentes das pesquisas em Ensino de Física: a proliferação de propostas alternativas para o laboratório. Algumas dessas propostas apresentam resultados promissores, entre elas citamos as propostas experimentais com roteiro aberto (Godinho e Terrazan, 2003) ou propostas de situações-problema, como a experiência relatada por Silva (2002), cujos principais pontos resumidos pelo autor seriam:

- i) Propor situações-problema em vez de experimentos fechados.
- ii) Analisar, aproveitar e valorizar as propostas dos estudantes, colocando-as quando possível como hipóteses a serem testadas.
- iii) Não menosprezar nesta disciplina o potencial didático de experimentos semiquantitativos que envolvam a aplicação prática direta de conceitos, propiciando terreno adequado para o desenvolvimento conceitual e das habilidades dos estudantes.
- iv) Permitir que os estudantes tenham propostas sobre a maneira de encarar o problema físico e de executar os experimentos.
- v) Propiciar cooperação e integração dos grupos na solução dos problemas apresentados e na análise coletiva dos resultados.

Silva (2002), aponta como principais pontos favoráveis da proposta a motivação e envolvimento dos alunos na abordagem das situações práticas, a troca de informações entre os membros dos grupos e entre grupos e a natural intervenção do professor como mediador das discussões. Um dos pontos desfavoráveis assinalados foi a manutenção do tempo, visto que *“tratar a profusão de idéias que ocorre quando deixamos um problema aberto”* requer mais do que o já escasso tempo disponível nas propostas tradicionais.

Outra experiência alternativa foi alvo da pesquisa de mestrado de Costa (1997), que acompanhou a realização de experimentos no esquema de rodízios. *“O trabalho em grupo foi conservado, mas uma mesma prática não era realizada por todas as equipes nos mesmos dias. Foram criados blocos de experimentos que foram realizados por diversos grupos de estudantes e, posteriormente, trocados por eles. O rodízio funcionava da seguinte forma: várias experiências eram realizadas simultaneamente numa mesma sala, sendo que quando cada uma dessas era completada pelos grupos, era feita uma troca de material entre estes de modo que numa segunda rodada, cada grupo estaria realizando práticas que outros já haviam realizado”* (COSTA, 1997, p. 25).

Entre as observações positivas que foram colocadas pela autora, citamos:

1. Num laboratório didático, quando os estudantes são incentivados a construir o planejamento das experiências e não recebem respostas prontas para suas dúvidas, eles alcançam visões mais adequadas acerca da natureza do processo e do produto do trabalho científico. Dessa forma, eles aprendem a valorizar, com o tempo, os momentos de esforço e de frustração que precisam enfrentar nas tarefas.
2. Quando as práticas são concebidas como investigações coletivas (é o que ocorreu através do esquema de rodízios de experimentos, em que não era apenas um grupo o responsável por cada prática) sob a orientação do professor, a respeito de problemas interessantes e acessíveis, aparentemente os alunos demonstram, em geral, um maior interesse e valorização pelas práticas do que aqueles que as realizam sem o compromisso de passar os seus resultados para a turma ou para um outro grupo.
3. A atenção do professor para com o grupo é positiva, porque ele pode levar os alunos a exporem suas idéias e a verem coerência nelas. Dessa maneira, eles aumentarão o seu autoconceito e se sentirão capazes de contribuir nos trabalhos do seu grupo e de construir os seus próprios conhecimentos.

Na análise empreendida quanto às dificuldades apresentadas pela proposta, foram considerados aspectos relacionados aos impactos psicológicos, por exemplo: determinados alunos que apresentam baixa auto-estima, não se envolvem com as atividades do seu grupo, por julgarem que não tinham condições de contribuir, precisando receber algum tipo de estímulo por parte do professor ou dos colegas.

Outra alternativa bastante freqüente é a complementação das propostas tradicionais com outras atividades, por exemplo, os seminários. Um estudo realizado por Kishinami (1982) pode ilustrar essa prática, orientada pela visão de que a experimentação não termina na elaboração dos relatórios, mas inclui a exposição e discussão dos resultados como parte da

atividade. O principal objetivo da proposta foi justificado da seguinte maneira pelo professor-coordenador:

[...] quando resolvi colocar o seminário, coloquei com um objetivo muito claro: desenvolver no aluno algum ato de discussão e confrontação de resultados, de discutir com seus colegas juntamente com o professor (KISHINAMI, 1982, p. 263).

Ao analisar os resultados o pesquisador alerta que, se alunos e professores não forem orientadas na direção da proposta, a finalidade a que se propõem os seminários não se concretiza.

[...] os seminários acabavam por ter como principal finalidade resolver as dúvidas dos alunos surgidas na confecção dos relatórios, o que os tornava uma atividade voltada ao ‘fechamento’ de uma outra atividade e não um momento de ‘revelação’ para o aluno da experimentação (também) como fonte de conhecimento, e portanto, de Ciência (KISHINAMI, 1982, p. 264).

Poderíamos citar ainda outras propostas que surgiram em alternativa ou complementação ao laboratório tradicional, porém, acreditamos que o que já foi acima exposto cumpre a finalidade de traçar um panorama sobre as linhas que têm caracterizado os laboratórios didáticos do Ensino Superior de Física. Interessa-nos agora caracterizar a proposta que norteia as disciplinas experimentais que têm lugar na instituição onde realizamos a pesquisa e, mais precisamente, caracterizar a metodologia de pesquisa e a disciplina Física Experimental VI, que acompanhamos no primeiro semestre de 2002.

2.2 UM EXERCÍCIO DE CARÁTER ETNOGRÁFICO

Quando reconstruímos a história de Faraday usamos a historiografia, resgatando o passado com novas análises dos velhos documentos. Para reconstruir a história dos alunos no laboratório didático, utilizamo-nos de outra abordagem: a Etnografia, buscando, no presente, os elementos necessários para analisar a existência cotidiana atual da escola como história acumulada, levando em consideração “*o inevitável pano de fundo conceitual de toda análise da realidade escolar*” (EZPELETA e ROCKWELL, 1989).

A Etnografia, como metodologia de pesquisa derivada da Antropologia, tem enfoque nos seres humanos. Seres humanos observados em sua “vida cotidiana”, pertencentes a uma rede histórica e social, em nosso caso particular, pertencentes a uma instituição escolar. A reconstrução dessa “vida cotidiana” necessita, portanto, *“da integração de diversos níveis de análise, posto que a realidade escolar não é idêntica à experiência direta de determinados sujeitos, mas que, a partir destes sujeitos, é possível compreender a “lógica” de certas atividades (ou conjunto de atividades heterogêneas) observadas na escola e reconstruir as redes que as unem a outros âmbitos”* (EZPELETA e ROCKWELL, 1989).

Logo, estamos concebendo a Etnografia não como uma simples técnica de coleta de dados, mas como uma metodologia de pesquisa, no sentido de que todo método implica uma teoria, e estamos adotando um tipo de Etnografia que funda suas raízes teóricas na Sociolinguística americana de Hymes e Cazden, a qual, segundo Ezpeleta e Rockwell (1989), é o tipo de Etnografia que, provavelmente, mais contribuiu para a compreensão dos fenômenos educacionais, ao menos dentro das sociedades escolarizadas.

Tem-se a tendência de denominá-la “microetnografia”, pelo fato de concentrar-se na análise detalhada do registro (gravador ou vídeo) da interação que se dá nos “eventos educacionais” de qualquer tipo. [...] Esta corrente vem contribuindo no sentido de dar conteúdo concreto à noção do “currículo oculto”, quando descreve uma série de regras implícitas à interação escolar. Tem descoberto também estratégias de sobrevivência e resistência dos alunos. A contribuição principal, sem dúvida, funda-se talvez na possibilidade de elaborar uma descrição da interação entre professores e alunos, distinta da que se produz através das categorias formais da didática (Flanders etc.), tão utilizadas na pesquisa educacional (EZPELETA e ROCKWELL, 1989, p. 42).

Desta forma, buscamos, com a Etnografia, resgatar também os aspectos subjetivos das relações estabelecidas entre professores e alunos e que configuram a história não-documentada do laboratório didático. História em que a negociação das regras do jogo necessárias no laboratório revela as diferentes formas como cada aluno e cada professor se apropriam delas, sem necessariamente acreditar nelas ou aprová-las.

A pesquisa etnográfica é caracterizada por um trabalho de campo longo, onde cabe ao pesquisador observar, conversar com os sujeitos a quem e sobre quem se observa e manter registros escritos sobre as experiências. Na Etnografia, observação e análise caminham inter-relacionadas com a reflexão e o debate teórico. O observador leva a campo uma carga teórica

e pressupostos que podem influenciar seu olhar, de modo que registrar apenas o que se vê, e tudo o que se vê, não é uma tarefa fácil, “*se o observador não pretende meramente confirmar o que já pressupunha a respeito da escola, ele se espanta quando se depara com situações inexplicáveis por si mesmas, sem relação possível com o que espera que aconteça*” (EZPELETA e ROCKWELL, 1989, p. 16).

Entendemos que essa busca teórica de construção exige o uso de categorias que devem ser construídas ao longo do trabalho, como resultado do esforço de observar, registrar, refletir sobre os dados, ampliar os registros¹ e voltar a campo; como afirmam EZPELETA e ROCKWELL (1989, p. 17), “*um trabalho permanente de análise de registros, de ida e vinda entre os dados de campo e o esforço compreensivo, sustenta o avanço progressivo na superação dos sentidos “evidentes” das situações. Quando o “não-significativo” se transforma em indício, em pista possível daquilo que buscamos, os registros começam a documentar, com maior precisão, a aparente dispersão da vida escolar. A análise proposta permite identificar e relacionar estes indícios e a partir daí orientar as novas observações*”.

A primeira escolha que realizamos foi quanto ao curso a ser observado. Vários motivos nos levaram a optar pela disciplina de Física Experimental VI - Laboratório de Estrutura da Matéria, dentre eles o fato da disciplina ser oferecida aos alunos no final do curso de graduação em Física², o que pressupunha que os alunos já trouxessem uma ampla bagagem adquirida na passagem por cinco disciplinas experimentais anteriores. Em nosso caso, a observação durou um semestre, ou seja, a duração total da disciplina. Assim consideramos que, apesar do tempo de observação ser bastante limitado para os padrões sugeridos por Rockwell, fizemos um exercício de caráter etnográfico, onde perseguimos a característica essencial da Etnografia apontada por Ezpeleta (*apud* SANTOS, 2002): a função de documentar a realidade não documentada, ou seja, documentar os eventos que ocorrem e que nos parecem familiares, mas cujas peculiaridades e significados não tenham sido registrados, analisados e compreendidos de modo aprofundado.

Quanto à maneira de orientar a pesquisa, procuramos seguir as orientações de ERICKSON (1973), que nos diz que a Etnografia deve ser realizada a partir de perguntas

¹ Os registros feitos no momento da observação devem ser lidos e ampliados, acrescidos de notas, dúvidas e demais reflexões, num prazo máximo de 24 horas após a observação, a fim de ser possível resgatar a memória do acontecimento do evento.

² Na época em que realizamos a pesquisa, a graduação no Instituto de Física da USP poderia ser realizada em licenciatura ou bacharelado e o bacharelado oferecia diferentes habilitações para opção dos alunos: bacharelado com habilitação em Astronomia, bacharelado com habilitação em Pesquisa Básica etc. A disciplina FNC 314 – Física Experimental VI, era obrigatória para os alunos do bacharelado com habilitação em Pesquisa Básica e em Astronomia.

deliberadas. Entramos assim em campo munidos de algumas questões surgidas na experiência enquanto aluna e durante o estudo sobre o trabalho experimental de Faraday.

Não dispondo de experiência anterior com a metodologia etnográfica, foi preciso ir aprendendo ao longo da pesquisa, ou seja, usar nossa sensibilidade sobre o que seria pertinente realizar. Optamos inicialmente por fazer observações das aulas e entrevistar os alunos ao final da disciplina.

Acompanhamos um total de dez aulas da disciplina, com duração de quatro horas cada. As aulas aconteceram todas as terças-feiras, em dois laboratórios do Instituto de Física, da Universidade de São Paulo, onde dois professores davam aulas simultaneamente, tendo sido os alunos divididos em duas turmas, que chamamos Turma A e Turma B, uma com três (G1, G2 e G3) e a outra com quatro grupos (G4, G5, G6 e G7), respectivamente.

Para facilitar a descrição dos eventos, decidimos identificar os professores por Prof. 1 e Prof. 2, esclarecendo que eles não eram responsáveis por uma turma específica e sim por experimentos específicos, de maneira que o Prof. 1 era responsável pelas aulas referentes às experiências de Movimento Browniano e Experiência de Franck-Hertz, enquanto o Prof. 2 era o responsável pelas aulas de Efeito Compton e Lei de Moseley, Difração de Raios X (II) e Difração de Elétrons.

As aulas, em sua grande maioria, foram iniciadas com uma exposição teórica dos professores, onde eles discutiram a teoria envolvida no experimento, acompanhados ou não por perguntas dos alunos. Estes se posicionavam em grupos nas bancadas para fazerem as medidas cabíveis. Quanto ao nosso posicionamento na sala, procuramos nos colocar em locais que nos proporcionassem uma visão ampla durante a explanação dos professores e, após o início da etapa de tomada de dados, circulamos entre as bancadas dos diferentes grupos, o que nos possibilitou ouvir seus comentários, observar como trabalhavam na montagem dos equipamentos, participar das discussões sobre os resultados e conhecer melhor cada componente do grupo. Dessas observações resultaram as notas de campo, que posteriormente foram relidas e ampliadas³.

Ao final da disciplina, entrevistamos quatro grupos procurando descobrir os seus interesses particulares em relação ao perfil de trabalho, suas idéias em relação às disciplinas experimentais propostos e suas opiniões em relação aos trabalhos desenvolvidos naquela disciplina, sobre os professores, relacionamento no grupo, entre outros. Para as entrevistas, que foram gravadas em fita cassete e depois transcritas, formulamos previamente uma série de

³ Os registros ampliados produzidos serão citados no texto com a identificação: R.A.

questões sobre o que achamos previamente relevante conhecer dos alunos e acrescentamos mais uma série de outras questões na ocasião da entrevista. Além disso, com alguns alunos mantivemos conversas informais posteriores ao término da disciplina, visando esclarecer algumas posições e aprofundar alguns encaminhamentos.

O estudo do trabalho de Faraday dirigiu nosso olhar no acompanhamento da disciplina de Física Experimental VI, através de algumas perguntas que orientaram o início da nossa observação.

A primeira pergunta surgiu do próprio contato com a bibliografia primária e secundária de Faraday. Utilizamos uma quantidade bastante grande de material que permitiu acompanharmos a metodologia que Faraday empregou em suas pesquisas; porém, tratou-se de um trabalho de interpretações e suposições, porque, quando desenvolveu seus estudos sobre a relação entre eletricidade e magnetismo, Faraday não descreveu o método que empregava, e talvez ele próprio não soubesse como fazia suas descobertas. Helmholtz comentou sobre as descobertas de Faraday: *“A maioria delas surgiu diante do mundo como uma surpresa, como produtos de um instinto aparentemente inconcebível; e o próprio Faraday, mesmo posteriormente, tinha dificuldade em descrever em termos claros as combinações intelectuais que o haviam conduzido”* (HELMHOLTZ, *apud* AGASSI, 1971, p. 191).

Percebe-se, pela leitura de seus artigos e manuscritos, que no início das pesquisas sobre eletromagnetismo ele foi guiado pelas idéias de Humphry Davy e posteriormente, em alguns momentos, parece ter sido guiado pelas teorias de Ampère, mas em outros momentos não tinha nenhuma teoria que o guiasse. Faraday não possuía uma formação filosófica que pudesse ajudá-lo, sob o ponto de vista metodológico, mas talvez sentisse falta de algum apoio desse tipo e, logicamente, não havia manuais de orientação para experiências eletromagnéticas, visto ser uma área em fase de exploração inicial. Podemos supor que Faraday podia contar somente com sua habilidade experimental e com o estudo dos artigos que estavam sendo publicados.

A capacidade de Faraday de desenvolver pesquisas experimentais foi durante muito tempo trabalhada e apurada enquanto esteve auxiliando Humphry Davy em suas pesquisas em Química e quando Faraday iniciou seus estudos em eletromagnetismo já tinha enorme habilidade em criar e desenvolver experimentos e pôde aplicar de forma magistral essa habilidade na nova área de pesquisa. Uma de suas características era descrever as experiências realizadas no diário (caderno de laboratório), acrescentando desenhos das montagens e os resultados obtidos. Essas descrições eram bastante detalhadas, embora dificilmente fossem acompanhadas das suposições ou expectativas de Faraday em relação a elas. A riqueza de

detalhes, no entanto, muitas vezes possibilitou inferir as hipóteses que estavam sendo investigadas, claramente, isso só se tornou possível com o estudo conjunto de seu caderno de laboratório e sua correspondência. É importante ressaltar o privilégio de termos esse material conservado, o que torna o estudo do trabalho de Faraday mais preciso e mais completo. É nesse sentido que concordamos com que *“nós não podemos procurar a interação do dia-a-dia do pensamento, intenção, operação e reação, ou a cronologia não ambígua, o que às vezes é possível, quando temos possibilidade de analisar um registro de anotações de laboratório”* (HOLMES, 1992, p. 131).

Daí nossa pergunta: Faraday não tinha manuais ou apostilas para guiar seus experimentos, contava com os artigos publicados sobre o assunto por outros pesquisadores e sua habilidade, mas produziu valiosos registros sobre suas atividades. Os alunos possuem as apostilas de laboratório para guiarem suas atividades e alguns apresentam algumas habilidades experimentais, mas **será que eles registram seu método de trabalho?**

Foi atribuída a Ørsted a capacidade de perceber um fenômeno novo (embora pudesse ter-se repetido inúmeras vezes diante de diferentes observadores), quando percebeu a relação entre a corrente elétrica e a deflexão da agulha da bússola, no conhecido experimento realizado em abril de 1820. No entanto, perceber um novo fenômeno, algo desconhecido, não significa ser capaz de analisá-lo. Por vezes, os fenômenos são tão complexos que somente após um longo tempo de estudos são completamente explicados. A descoberta do eletromagnetismo foi um desses casos; Ørsted descobriu que a corrente elétrica causava uma deflexão na agulha, mas não pode, naquele momento, dizer como e por que aquilo acontecia.

Passados dez anos da descoberta do eletromagnetismo, em que foram realizados os mais variados estudos, por diversos cientistas em diferentes países, dos quais podemos citar os trabalhos de Wollaston, Ampère e do próprio Faraday, entre outros, o fenômeno foi ainda considerado obscuro, ou a *“análise do magnetismo não estava satisfatoriamente concluída”* (HERSCHEL, 1966, p. 93). Isso mostra como a tarefa da investigação experimental tem desafios grandes e poderosos, exigindo daqueles que a praticam uma multiplicidade de qualidades e habilidades. E nos perguntamos: **Será que os alunos entendem como e por que ocorrem os fenômenos que reeditam?**

Além da característica de documentar seu trabalho, Faraday utilizou-se de habilidades que Herschel (1966) aponta como importantes para um observador, entre elas, manter todos os sentidos atuantes – várias vezes ele experimentava o sabor da substância que produzia, além de verificar visualmente seu aspecto, isso era importante para não deixar passarem despercebidas ocorrências que poderiam ser essenciais para a explicação do fenômeno e para

afastar causas de distorções e conclusões errôneas. Basta olharmos os cuidados que tomou para eliminar a influência do magnetismo terrestre em seus experimentos de rotações e suas preocupações quanto à sensibilidade dos instrumentos que utilizava, que o faziam indagar continuamente se seria esta a causa da ausência de resultados em determinados experimentos.

Essas características apontadas como importantes para as investigações experimentais, parecem não ter lugar nos atuais laboratórios, onde grande parte dos equipamentos são ligados a computadores que automaticamente eliminam influências externas e discrepância, ou, ao menos, sinalizam sua ocorrência ao realizarem a captação dos dados. **Será que a automatização dos laboratórios prejudica o entendimento das experiências?**

Sabemos que Faraday preferia trabalhar sozinho no laboratório, embora tenha sido assistente de laboratório durante vários anos, e o próprio Faraday, em uma carta que escreveu a Hansteen em 1857, afirmou: *“Eu nunca tive um estudante ou aprendiz para me ajudar; mas sempre propus e realizei meus experimentos com minhas próprias mãos, trabalhando e pensando ao mesmo tempo. Eu não creio que eu pudesse trabalhar em companhia [de outros], ou pensar alto, ou explicar meu pensamento no momento”* (FARADAY, apud AGASSI, 1971, p. 199). O trabalho dos alunos nos laboratórios didáticos, quase sempre, é realizado em grupo, mas **será que todos os alunos sabem ou gostam de trabalhar (estudar) em grupo?**

O estudo do trabalho de Faraday nos levou a perceber que a reconstrução de um caminho experimental leva a questionamentos sobre *“até que grau o cientista tentou seguir um ‘programa de pesquisa’ pré-determinado, e em que grau ele ou ela simplesmente improvisou, planejou um passo de cada vez, e permaneceu aberto para seguir qualquer direção de novas idéias, obstáculos ou a abertura experimental que aparecesse”* (HOLMES, 1992, p. 130). Quanto a Faraday, parece que trabalhou a maior parte do tempo improvisando, ou melhor, orientando sua pesquisa pelos resultados que ia obtendo. Williams (1971), descreve Faraday respondendo ao resultado de um experimento com outro experimento, pretendendo explorar um resultado inesperado ou procurando eliminar um obstáculo imprevisto, o que pode ser exemplificado com a série de experimentos realizados em 1823, sobre as rotações eletromagnéticas.

A forma de lidar com os imprevistos acabou revelando outra característica fundamental para seu sucesso, a sua persistência e paciência com os erros. Após Kepler, talvez Faraday seja o pesquisador que melhor trabalhou dentro do processo de investigação, considerando os erros tão importantes quanto as investigações bem sucedidas (JEVONS,

1924). Será que o mesmo ocorre com os alunos nos laboratórios? **Será que os alunos consideram os erros cometidos e registram sua ocorrência?**

O caminho da descoberta de Faraday, no eletromagnetismo, foi o da experimentação, ele foi levado à teoria pelos experimentos. Sua Lei da Indução é, antes de tudo, uma lei empírica. Fazendo uma comparação, diríamos que Newton e Faraday se assemelharam quanto às habilidades experimentais; mas deve ser dito que Faraday exibiu pouco da força matemática que possibilitou a Newton seguir intuitivamente os resultados qualitativos de um problema.

No caso de Faraday, acreditamos que sua precária formação científica talvez tenha contribuído para que não desenvolvesse teorias com mais propriedade, mas se tornasse um grande experimentador. Sua atenção estava quase exclusivamente voltada para os próprios fenômenos e para sua explicação em termos quase fenomenológicos, sem tentar realizar grandes vôos teóricos. Assim, nos colocamos uma última questão: **O perfil dos alunos, teórico ou experimental, afeta seu desempenho no laboratório?**

Essas perguntas eram parte de nossas preocupações ao assistirmos às aulas de Física Experimental, além de respondê-las queríamos traçar um perfil geral da disciplina. Apresentamos abaixo o resultado desse trabalho e mostraremos como nosso olhar foi sendo modificado e voltado para outras questões. Mais ainda, a surpresa de encontrarmos no laboratório um elemento crucial que nos levou de volta ao trabalho de Faraday.

2.3 CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DOS LABORATÓRIOS DIDÁTICOS DO INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

As disciplinas experimentais têm sido desde muito tempo assuntos de discussões travadas no Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Em particular, vamos resgatar duas situações onde os trabalhos revelaram dados que ajudam a contextualizar nosso estudo: uma pesquisa realizada há vinte anos atrás por Kishinami (1982), cuja preocupação era analisar as relações institucionais em um curso de Física Básica, e uma mesa-redonda sobre as Disciplinas Experimentais realizada em 7 de junho de 2001, no próprio Instituto de Física,

cujas idéias apresentadas pelos professores das disciplinas experimentais e representantes discentes foram divulgadas através de uma síntese elaborada⁴ por Yoshimura e Fantini.

Em 1982, Kishinami avaliou os laboratórios didáticos iniciais (Física Experimental I e II) como um “*local onde predomina a simples execução de tarefas*”, sobre o qual “*o quadro de relações institucionais obtido encaminha uma representação em que a administração do tempo e do comportamento dos alunos constitui o efeito principal da instituição laboratório didático*” (KISHINAMI, 1982, p. 220). Elaboramos um resumo em sete itens, a partir das análises do pesquisador, que mostram suas principais conclusões sobre as disciplinas iniciais do curso de Física.

1. Fica visível a inexistência de uma caracterização consensual dos objetivos pedagógicos destas aulas da instituição-disciplina.
2. A mecanização e a repetição dos procedimentos nas atividades desenvolvidas pelos alunos era compassada à limitação do trabalho dos professores aos aspectos técnicos destas mesmas atividades, bem como a uma hierarquização das relações entre os professores e o professor coordenador.
3. Existe a tendência dos professores em conferir à realização do experimento um valor intrínseco, apesar dela não acarretar, necessariamente, o aprendizado de outros conteúdos que não os meramente técnicos, “*ensinar a fazer tabelas, fazer gráficos e de criar um certo desembaraço de lidar com os dados [...] terminava por ser o objetivo comum*” (KISHINAMI, 1982, p. 230).
4. Os professores se viam bastante próximos dos alunos dentro de cada aula; esta imagem estava fortemente relacionada com a limitação do seu trabalho, que se restringia ao acompanhamento dos alunos durante a experimentação, no papel de quem completava as informações contidas na apostila de laboratório.
5. Existiam algumas tentativas dos professores de romper com a rotina imposta ao seu trabalho; embora fossem localizadas e não chegassem a marcar o seu relacionamento com os alunos, elas indicam que os professores eram conscientes do papel que lhes era destinado no laboratório didático.
6. É possível verificar que os professores viam os relatórios de experiências como tarefas que exigiam dos alunos um tempo e um esforço desnecessários, embora se sentissem impossibilitados de tomar qualquer iniciativa isolada para sua modificação. Os professores

⁴ A síntese foi elaborada a partir de fitas de áudio gravadas no evento.

privilegiavam os itens dos relatórios que diziam respeito aos dados experimentais obtidos pelos alunos, na concepção de que os relatórios eram uma extensão das atividades em aula. A correção e atribuição de notas aos relatórios pelos professores são interpretados como momentos de exercício de um poder sobre os alunos, que também era limitado, pois se restringia a um julgamento *a posteriori* do trabalho realizado.

7. As inovações (seminários de experiências, projetos experimentais e laboratório circulante) reproduziam as características do laboratório tradicional, em certa medida radicalizando-as na limitação do trabalho dos professores, no diretivismo do trabalho dos alunos e no privilegiamento dos procedimentos técnicos na realização dos experimentos.

A apostila utilizada em 1999, na disciplina Física Experimental 2, apontava como objetivos a seguintes relação:

- conceitos e leis físicas envolvidas nas experiências;
- instrumentos e técnicas experimentais utilizadas;
- elaboração de relatório formalmente correto, com resumo, introdução teórica, descrição da experiência, resultados e conclusões;
- cálculo numérico de expressões envolvendo funções trigonométricas, fatoriais, logaritmos, exponenciais e outras;
- estimativa de incertezas de leitura e propagação em casos simples;
- sistematização de resultados por meio de tabelas adequadas, com unidades adequadas, incertezas e legenda;
- elaboração de gráficos com barras de incerteza, legenda, tamanho adequado, escalas adequadas e unidades adequadas;
- utilização de gráficos, inclusive monolog e dilog, na análise de dados experimentais;
- linearização de relações funcionais através de mudança de variáveis;
- obtenção de coeficientes linear e angular de reta a partir de gráficos simples, monolog ou dilog;
- ajuste da reta pelo método dos mínimos quadrados, obtendo incertezas nos coeficientes linear e angular (VUOLO et al., 1999, p. 1-3).

Dois anos depois, em 2001, os objetivos dos laboratórios para ingressantes, enfatizados na mesa-redonda pelo coordenador das disciplinas experimentais obrigatórias do curso de bacharelado, mostravam que se almejava alcançar uma posição bastante diferente da encontrada por Kishinami (1982), e com alguma relação com a listagem esboçada na apostila citada acima.

Entre os possíveis objetivos de laboratórios didáticos, detalhados na literatura, os laboratórios para ingressantes do IF [Instituto de Física] têm-se preocupado com os seguintes: desenvolver habilidades experimentais e analíticas e aprender a avaliar resultados em vários níveis de sofisticação, desde qualitativas até quantitativas; fazer gráficos e relacionar dados; entender incertezas e distinguí-las de enganos; entender as bases do desenvolvimento da Física; relacionar experiência concreta com teorias científicas; formular modelos qualitativos. Não são enfatizados os que se referem ao aprendizado de conceitos, sendo o laboratório desvinculado da teoria. Embutido nos objetivos há a ética profissional (Prof. Pascholatti *apud* YOSHIMURA e FANTINI, 2001).

Percebemos pelos objetivos demarcados para as primeiras disciplinas experimentais, a saber, Física Experimental I e Física Experimental II, a existência de uma grande separação entre a Física Teórica e a Física Experimental, como se a Física pudesse ser dividida em teoria e prática e essas suas partes distintas pudessem ser ensinadas e aprendidas independentemente. As falas de outros professores participantes na discussão na Mesa Redonda, revelam suas preocupações e corroboram essa imagem:

Do Prof. Galvão: [...] Física tem que gostar de experiência. Dar valor à parte experimental. Não pode haver a dicotomia laboratório/teoria logo. A experiência deve vir junto com a teoria correspondente. Nos laboratórios iniciais é essencial que o professor de teoria e de laboratório seja o mesmo. O laboratório não é independente da teoria.

Do Prof. Tabacniks: [...] Formação experimental e a teórica são diferentes porque a metodologia é diferente. Isso deve ser levado em conta. É consenso que laboratório não é demonstração, não é complemento de teoria. [...] Como se monta o treinamento do físico experimental? Há seis etapas nesse aprendizado e é insuficiente. [...] Técnicas analíticas não são ensinadas. Não há ênfase na formação do físico experimental equivalente à formação do físico teórico. Falta organização no currículo, falta essa estrutura. O que fazer? Não pode ser em 5 ou 6 quadrinhos. Deve-se montar uma estrutura mais detalhada e treinar melhor os métodos experimentais. Nós não temos treinamento experimental.

Do Prof. Sartorelli: Por que não um curso de Física em vez de um curso de teoria ou de laboratório? [...] Não se forma teóricos ou experimentais, se nasce assim.

Do aluno Altmann: [...] Teoria e experiência são inseparáveis historicamente e a estrutura não deixa ver isso. A parte experimental fica desinteressante. A estatística passa a ser uma técnica. Há pressa, produtivismo (YOSHIMURA e FANTINI, 2001).

Essas opiniões trouxeram à tona uma questão que parece profundamente enraizada no ensino acadêmico: a supremacia da teoria frente à experimentação. Conversas informais com professores de Física de diferentes institutos mostraram que esse traço não é característica apenas da universidade onde realizamos nossa pesquisa; um professor de outra universidade estadual disse-nos que é freqüente um professor que tenha sido mal avaliado institucionalmente ser sugerido para ministrar as aulas de laboratório, o mesmo acontecendo com os professores novatos na instituição. O trabalho de Kishinami (1982), desvelou essa dicotomia presente no Instituto de Física, que acolheu nossa pesquisa.

As aulas de teoria da mesma disciplina eram representadas por um modelo de iniciação à Ciência, cujo aspecto central era o predomínio dos efeitos ideológicos de reconhecimento da Ciência como a interpretação e descrição legítimas da Natureza, do professor como guia intelectual capaz de conduzir os seus alunos para uma relação de intimidade com os segredos a serem desvendados nos fenômenos naturais e da hierarquia presente na relação pedagógica como a contraface da hierarquia entre guia e iniciado.

[...] As aulas de laboratório eram caracterizadas como uma disciplina diferente daquela representada pelas aulas de teoria. Isto, principalmente porque os relatórios das experiências disputavam o tempo de leitura e resolução de exercícios (das aulas de teoria), tanto quanto as tarefas de Cálculo ou Álgebra .

[...] O que se pode concluir é que as experiências tinham uma finalidade demonstrativa com relação às teorias físicas. O que os alunos podiam ganhar com a realização dos experimentos era a comprovação, dentro dos limites dos erros experimentais, das teorias que descreviam os fenômenos e cujo estudo sistemático era feito nas aulas de teoria (KISHINAMI, 1982, p. 336, 198 e 235).

Em nossa pesquisa de campo só acompanhamos uma disciplina experimental, de forma que não pudemos fazer uma comparação direta com uma disciplina teórica para verificarmos uma possível diferença estabelecida pelos alunos. Porém, várias vezes presenciamos diálogos entre os alunos sobre faltar à aula de laboratório para estudar para outras disciplinas (teóricas) ou mesmo justificando a não entrega de relatórios com esse argumento. Em outros episódios que presenciamos, alunos interromperam suas atividades dentro do laboratório para resolverem exercícios de outras disciplinas. Talvez esses episódios indiquem que os alunos valorizam mais as aulas teóricas, embora outros fatores possam ter determinado tais atitudes.

De qualquer forma, essa dicotomia está presente (ainda que no pano de fundo) no ambiente do Instituto de Física e, certamente, pode ter grande influência na formação dos alunos. As citadas falas dos professores permitem discutir outras características das disciplinas experimentais oferecidas no Instituto. Em um total de seis, as disciplinas são trabalhadas aos pares, ou seja, têm objetivos similares Física Experimental I e II, assim como Física Experimental III e IV e as disciplinas Física Experimental V e VI chegam mesmo a ter experimentos semelhantes.

Quanto ao segundo bloco, verificamos uma coisa bastante curiosa, são as disciplinas menos valorizadas pelos alunos, normalmente onde se trabalha eletricidade e magnetismo.

P⁵ – E laboratório 3 e laboratório 4?

Sílvia⁶ – Foram os piores.

P – Por que foram repetitivos? Por que foram ruins?

Sílvia – Porque é repetitivo, e pelo menos para mim foi o conteúdo. Porque é ‘eletro’ e uma das piores matérias que eu já peguei foi ‘eletro’, então laboratório de ‘eletro’ ficava pior ainda.

Miguel – Mas eu acho que não é só isso. Acho que as experiências dos laboratórios 3 e 4 são muito mal formuladas, com objetivos pouco claros, que não levam a nada, que parece que é mais formalismo, só formalidade.

[...]

Miguel – Laboratório 3 e 4 é tipo determinar resistência, umas coisinhas bobas. Joga o laser na parede e vê que a difração é redonda, circular. Ridículo.

Paula – E eu acho que em laboratório 3 e 4 a gente perdia muito, porque era muito circuitozinho, e não sei se era falta de maturidade ou falta de conteúdo, mas muitas vezes eu não sabia o que eu estava fazendo. Eu ia pelo que o professor mandava fazer.

Sílvia – Foi bem o que o Miguel falou, não tinha muito objetivo de aprender. Era montar, fazer análise....

[...]

Paula – Eu odiava ir para aula de laboratório 3 e laboratório 4, odiava mesmo, de ficar de mau-humor, de chegar na sala e achar o professor chato, tudo era chato, tudo era ruim.

Entrevista 04/06/02 (ANEXO B, p. 148, 157)

O último bloco das disciplinas experimentais é formado por Física Experimental V e VI, onde se contemplam as experiências de Física Moderna. Essas disciplinas parecem receber uma atenção especial dentro do Instituto, refletindo-se na visão dos alunos sobre as mesmas.

⁵ Utilizaremos a letra P maiúscula para identificar as falas da pesquisadora.

Como acompanhamos a disciplina Física Experimental VI, vamos tentar evidenciar melhor as características que a compõem.

A forma atual dos laboratórios V e VI é resultado de uma história. Não mudou muito desde, aproximadamente, 1975, deve ter contribuições de quase todos os professores do IF. Atualmente consta de oito experiências nos dois laboratórios. Considero que ambos são uma coisa só, que poderia até haver troca de ordem na grade. São experimentos clássicos em Física Moderna, várias foram Prêmio Nobel no início do século XX: experiência de Millikan, efeito fotoelétrico, efeito Compton, espectroscopia de raios gama, raios X, difração de elétrons, movimento browniano. Há quatro experiências por semestre, três semanas por experimento. O relatório tem formato de artigo científico. O curso é pouco dependente da teoria – porque há tempo para tudo: exposição teórica na aula 1 e início da tomada de dados; aula 2 – continuação da tomada de dados e início da análise; a aula 3 completa mais a teoria ou não, dependendo do experimento (Prof. Lichtenthaler, apud YOSHIMURA e FANTINI, 2001).

A distribuição das atividades nas disciplinas finais do curso, descrita pelo Prof. Lichtenthaler, corresponde ao que observamos em nossa pesquisa de campo e confirmamos pela reprodução da “folha de regras” que foi entregue aos alunos na primeira aula, da qual reproduzimos um trecho.

FNC314 - FÍSICA EXPERIMENTAL VI
Laboratório de Estrutura da Matéria e Física Moderna
Primeiro semestre de 2002

Neste semestre serão realizadas 4 experiências:

- Experiência de Franck-Hertz
- Efeito Compton
- Lei de Moseley, Difração de Raios X (II) e Difração de Elétrons
- Movimento Browniano

As turmas serão divididas em grupos de preferencialmente 2 a 3 alunos. Cada experiência será realizada em 3 aulas. A ordem de realização das experiências será diferente para cada turma (vide quadro de avisos). Os resultados das experiências deverão ser relatados na forma de *artigo científico*. Os trabalhos são feitos em grupo. É obrigatória a entrega de todos os 4 trabalhos. Serão realizadas duas provas escritas, uma no meio e outra no fim do semestre, cada uma sobre duas experiências. O máximo número de faltas permitido é 3, sendo que o aluno que faltar em mais de uma aula de uma mesma experiência não poderá entregar o respectivo trabalho. A tolerância máxima de atraso é de 20 minutos após o início

Figura 24 – Reprodução da folha de instruções sobre a disciplina FNC 314 – Física Experimental VI.

⁶ Os nomes dos alunos foram alterados visando a garantia da privacidade.

Em nosso exercício de observação pudemos constatar que quase sempre essas ‘regras’ foram obedecidas. A escolha dos grupos foi feita pelos próprios alunos, com exceção de uma intervenção do professor, que exigiu a formação de duas duplas (G6 e G7) a partir da divisão de um grupo que seria composto por quatro alunos.

P – E você acha que seu grupo que é o Carlos, Julio e Ricardo conseguiu trabalhar? Como foi que vocês, como se formou esse grupo? Vocês que escolheram ou foi o professor que escolheu? Vocês já tinham contato antes, de outra matéria?

Carlos – Eu não conhecia ele (Ricardo), mas conhecia ele (Julio) de outra disciplina. Mas, o Julio conhecia o Ricardo, então, ele (Julio) foi a ponte. A gente conversou um pouco antes e a gente contou que eu tive uma experiência ruim de um grupo com gente que não tinha compromisso em terminar o curso, que se desse ou não, tudo bem. E para mim é importante terminar. Para sentir qual é a do cara, porque de repente ele está fazendo o curso, mas para ele é só mais uma atividade.

Entrevista 04/06/02 (ANEXO B, p. 138)

É interessante ressaltar que um outro grupo (G2) manteve sua formação com quatro alunos e os demais grupos foram compostos por três elementos. Em uma pretenciosa análise, diríamos que todos esses grupos tiveram um acompanhamento satisfatório das atividades experimentais, exceto as duas duplas que apresentaram maiores dificuldades, inclusive resultando na reprovação de alguns estudantes.

De forma geral todos os alunos se envolveram nas atividades, revezando os papéis de montagem, calibração dos equipamentos, anotação dos dados, elaboração de gráficos e tabelas etc., apenas uma aluna (Teresa) se manteve permanentemente no papel de “anotadora dos dados”. Seus dois companheiros do grupo (G3) se encarregavam das demais tarefas, sendo que um deles (Alfredo) foi o aluno mais ativo durante todo o curso e o outro (Luís) era namorado da referida aluna. Talvez essas condições tenham favorecido a acomodação da aluna; embora seja bastante comum encontrarmos essa situação de “alunos secretários” dentro dos laboratórios didáticos.

Os resultados das experiências foram apresentados através de relatórios (as duplas G6 e G7 não entregaram todos) que, juntamente com as provas, constituíram-se nas maiores fontes de queixas dos alunos. Os grandes problemas levantados em relação ao relatório foram: o tempo necessário para sua elaboração e as notas atribuídas a eles pelos professores.

Paula – E era um relatório por semana, que eu fazia normalmente com a Sílvia, relatórios de trinta páginas, com várias experiências.

P – Me fala sobre a divisão dos trabalhos. Como é que vocês se dividem, vocês conseguem sentar os quatro e fazer relatório?

Sílvia – Não.

Miguel – Eu acho que antes, laboratório 3, 4 até no 5 eu acho que dava porque nós éramos outros (3 pessoas) e a gente tinha mais tempo, fazia menos matérias e até dava para pensar em se reunir. Mas agora nesse semestre, a gente divide, cada um faz uma parte.

P – Cada um faz uma parte e depois alguém junta, é isso?

Miguel – Teve até uma vez que a gente se reuniu para juntar tudo.

Sílvia – Foi o único relatório que a gente pegou para fazer mais junto.

P – E isso ajuda, atrapalha ou tanto faz?

Sílvia – Eu acho que ajuda, mas você acaba levando mais tempo porque você discute mais.

[...]

Ricardo – Quanto tempo, em média, você leva para fazer um relatório, a sua parte, somando pedacinho por pedacinho, em horas?

Fábio – Sei lá, umas 10 horas.

Ricardo – E você? (perguntando para Marcos)

Marcos – Acho que é por aí também.

Ricardo – Três caras, dez horas cada parte...

Laís – Não, não, dez horas cada parte, mais uma média de 6 horas para arrematar.

Marcos - Um relatório é quase trinta horas, sem brincadeira, a gente gasta isso. Eu já gastei mais, quando eu fazia com um grupo, é isso aí... Eu dei sorte de ter o pessoal que faz, porque eu já tive grupo onde tive que fazer o cálculo inteiro. Fazia tudo e se somasse mais um dia inteiro, se pegasse seguido, só que chega uma hora que, sinceramente, se você tem um pouquinho de..., se você é um pouquinho humano, você não agüenta mais, você larga e entrega do jeito que está.

[...]

Laís – É assim, você faz o relatório para valer. Você coloca direitinho os dados que você obteve, você faz a análise direito, põe todas as explicações que você conseguiu achar para aqueles problemas e aí, o cara te devolve o relatório com 6,0. Você ‘acoxambra’ e o cara te devolve o relatório com 8,5. Você pensa na sua bolsa, entendeu, você pensa na sua nota para se formar, você pensa em todos os ganhos e todas as perdas e, você ‘acoxambra’ mesmo.

Ao analisarem as provas, os alunos focaram suas críticas em dois aspectos principais: a adequação da prova para avaliar os conteúdos desenvolvidos na disciplina e a adequação das perguntas quanto à formulação e ao tempo disponível para realização da prova.

Laís – Eu, já acho que é meio incoerente uma disciplina prática ter uma prova teórica.

Carlos – [...] pedir na prova os cuidados que você precisa tomar, o que é importante, o que é mais significativo ou assuntos de teoria.

Laís – Ou dar uma prova prática, mas uma prova prática razoável, porque prova prática de laboratórios 3 e 4, você tinha que reescrever um mini-artigo em quatro horas.

Marcos – Porque você tem que avaliar o que foi pedido, o que foi discutido em sala de aula. Como é que você avalia coisas que você imagina, experiências que estão longe ou nem sequer foram pensadas?

Entrevista: 04/06/2002 (ANEXO B, p. 143)

Com o decorrer do trabalho em campo (a participação nas aulas, as conversas com os alunos e a reflexão sobre os dados), fomos aos poucos concentrando nosso olhar em algumas questões mais específicas, que resultaram na seleção de três tipos de situações: a forma como os alunos lidavam com a montagem experimental, os registros das atividades e a relação dos professores com os alunos. Procuramos abordar essas situações traçando paralelos com situações encontradas no trabalho de Faraday, sendo que a terceira situação, sobre o relacionamento de professores e alunos, será melhor discutida no próximo capítulo.

2.3.1 SITUAÇÃO 1 - LIDANDO COM A MONTAGEM EXPERIMENTAL

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



Laboratório de Estrutura da Matéria

Física VI – FNC-314

Difração de Raios X - II
e elétrons

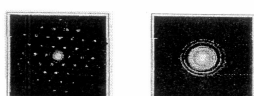


Figura 25 – Capa de uma apostila utilizada na disciplina FNC 314.

Os alunos receberam na apostila um esquema da montagem que deveria ser utilizada para realização do experimento. A montagem real disponível nem sempre era idêntica àquela descrita na apostila, porém seus elementos essenciais quase sempre eram correspondentes. Como cabia aos estudantes fazer uma introdução e descrever a montagem experimental no relatório, normalmente, eles usavam diretamente a descrição contida na apostila ou mesmo copiavam de relatórios feitos por outros alunos nos anos anteriores. Além dessas estratégias mais frequentes, tivemos oportunidade de observar uma aluna fotografando a aparelhagem e justificando.

Laís trouxe uma câmera fotográfica digital e tira fotos dos equipamentos utilizados na aula

P: Por que você está fotografando isso?

Laís: Para não precisar desenhar a montagem experimental.

R.A. 02/04/02 (ANEXO A, p. 122)

Antes da aula, Laís e Fábio conversam sobre o relatório do grupo. Laís diz que não teve tempo de mexer (no relatório) no final de semana e Fábio comenta que fez colagem da introdução da apostila.

Laís: Da apostila ou do relatório do Luís?

Fábio: Da apostila estava melhor, ele (Luís) também fez cópia da apostila mas não ficou tão bom. Agora temos que colocar os dados.

R.A. 28/05/02

Parecia existir uma resistência dos alunos em descrever a montagem experimental revelando, possivelmente, a falta de compreensão da mesma. Acreditamos que a ausência de discussão sobre a montagem e a própria sofisticação dos equipamentos podem ter provocado essa dificuldade. Os alunos, ao opinarem sobre a automatização presente nos laboratórios, defenderam o uso de toda tecnologia possível, alegando a vantagem da economia de tempo e o contato com os produtos do desenvolvimento tecnológico.

Também nós não ignoramos as vantagens trazidas pela automatização dos laboratórios, ao contrário, concordamos com CAVALCANTE et al. (1998) em que *“quando abordamos o desenvolvimento da física nos últimos anos, independentemente da natureza teórica ou experimental, percebe-se claramente a imensa influência dos computadores na resolução de problemas. Aos físicos teóricos, permitiu a interpretação de fenômenos anteriormente proibidos diante do grande volume de cálculos requeridos para sua solução. No que se refere a problemas experimentais, a possibilidade de controle de variáveis durante longos períodos de tempo, o controle simultâneo de diferentes grandezas físicas e a aquisição informatizada de dados, bem como o tratamento imediato destes resultados, permitiram trazer à tona fenômenos que anteriormente não podiam ser observados”*. Porém, questionamos a postura pouco crítica frente ao emprego desses equipamentos quando são concebidos como a solução para uma tomada de dados segura e imune de erros.

Percebemos que muitas vezes os estudantes não tinham clareza sobre o funcionamento dos equipamentos que estavam utilizando, colocando-se apenas como meros apertadores de botões.

O professor leva uma fonte para o G2, composto por três rapazes. Maurício pergunta (para os colegas do grupo) qual a função da fonte. Pedro diz achar que era para ionizar e o Maurício pergunta o que a ionização mudaria. Pedro responde que achava que era para carregar as gotas e, assim poderem pegar gotas menores.

R.A. 12/03/02 (ANEXO A, p. 117)

Diante de situações como essa, um aspecto que chamou atenção nos grupos observados foi a atitude diferenciada do aluno Alfredo. Várias vezes ele se utilizou de duas montagens paralelas para realização da experiência; enquanto o restante do grupo acompanhava uma montagem, ele verificava na outra se havia diferenças nas respostas obtidas. Além disso, diferentemente da atitude passiva de aceitação da montagem, ele questionava e sugeria alterações que pudessem facilitar o experimento.

Inicialmente Alfredo pergunta sobre a possibilidade de utilizar uma fonte (não prevista no experimento) para melhorar a escolha das gotas (justificando que as carregadas eram muito gordas). Prof. 1 concorda e o aluno sai em busca das fontes para o grupo.

R.A. 12/03/02 (ANEXO A, p. 116)

Algumas curiosidades sobre o trabalho de Faraday revelam como sua compreensão, ou mesmo intimidade com as montagens experimentais, permitiu aperfeiçoar os equipamentos disponíveis na época, uma situação semelhante àquela descrita sobre o aluno Alfredo. Faraday percebeu a necessidade de isolar os fios para realização das experiências eletromagnéticas (o que fazia com tiras de algodão), em uma época em que fios encapados, tão comuns nos dias de hoje, não existiam.

Thomas Martin, um estudioso dos trabalhos de Faraday, chama a atenção para o fato de Faraday não ter usado um galvanômetro para detectar a existência de corrente quando realizou a experiência com o anel. Mesmo já tendo utilizado o galvanômetro em experimentos anteriores, Faraday preferiu utilizar o que Martin chamou de “um simples arranjo de Orsted” – um fio passando sobre uma agulha magnética.

É interessante notar que ao relatar esta experiência no artigo que publicou posteriormente, Faraday diz que utilizou um galvanômetro:

A espira B foi conectada por fios de cobre com um galvanômetro a três pés do anel. As espiras A foram conectadas ponta a ponta para formar uma hélice comum, cujas extremidades foram

conectadas com uma bateria de 10 pares de placas de 4 polegadas quadradas. O galvanômetro foi imediatamente afetado (FARADAY, 1839-1855, p. 269).

Faraday pode ter optado por citar um galvanômetro no artigo, por ser este instrumento mais preciso e ser, portanto, mais adequado para apresentar o experimento à comunidade científica; ou pode ter ocorrido (e nos parece mais provável) que Faraday tenha repetido o experimento outras vezes e tenha utilizado um galvanômetro em alguma oportunidade, preferindo relatar no artigo a montagem do experimento que produzia efeitos mais fortes.

2.3.2 SITUAÇÃO 2 - REGISTRANDO O TRABALHO

O caderno de laboratório de Faraday é uma das melhores fontes de informações sobre seu trabalho e, provavelmente, teve importante papel em seu aprimoramento intelectual. O trabalho de rever suas notas e selecionar o que seria transcrito para o diário pode ter se tornado um momento de reflexão, mobilização de idéias e questionamentos. Assim, um dos nossos maiores interesses quando da entrada em campo era conhecer como os alunos documentavam suas atividades experimentais. Tínhamos a intenção de estudar os cadernos dos alunos com a expectativa de que eles se revelassem um registro daquilo que ocorria na sala de aula, ou seja, *“verificar quais eram os conteúdos que estavam sendo ensinados em sala de aula, como o aluno se apropriava desses conhecimentos, quais eram os erros cometidos, quais eram os procedimentos do professor em relação aos erros, e qual era o conteúdo das observações feitas, por escrito, pelo professor”* (SANTOS, 2002, p. xiv).

Embora os alunos recebessem, através da apostila, recomendação explícita quanto à adoção do caderno: *“o aluno deverá ter um caderno de laboratório, no qual são anotados todos os resultados de medições e cálculos, gráficos preliminares e outras observações tais como data, hora, referências, etc. Na entrevista final, o aluno deve ter em mãos o caderno de anotações, além dos relatórios. Não se justifica a freqüente alegação de não poder fazer síntese ou relatório porque ‘os dados ficaram com o colega’. Cada aluno deve ter todos os dados em seu próprio caderno”* (VUOLO et al., 1999, p. 7), constatamos que a maioria dos alunos não os utilizava. Apenas um aluno (Carlos) manteve tal caderno nos cursos experimentais feitos na universidade, em contrapartida os demais alunos consideraram mais prático o não uso do mesmo.

Carlos – Eu sou um daqueles alunos esquisitos que tem aqui na USP, que anotam tudo o que o professor fala. Geralmente eu anoto para não ter dúvida. Porque se eu tiver alguma dúvida depois eu volto ali, se eu não tiver aquilo, eu não tenho onde recorrer. Eles já falam o mínimo, se eu não souber nem o mínimo que ele falou...

P – E porque que vocês outros (alunos do G4 e G5) não têm?

Laís – Porque não tenho caderno, eu anoto em folha solta, porque aí fica aquele bloquinho da experiência, entendeu? E já fica tudo junto.

Julio – Eu não anoto, porque o que eles falam, normalmente tem nos livros.

Ricardo – Mentira, é porque tem os outros que anotam. (risos)

Marcos – Eu não anoto mais, porque todas as vezes que eu tentei anotar, eu sempre perdi o fio da meada e o professor sempre atropelou os fatos e eu não conseguia depois manter uma ordem clara das coisas.

P – Anotar o que o professor fala é parte das notas. Outra parte é anotar por exemplo, o que não deu certo na experiência porque assim na próxima aula você pode retomar e mudar algo.

E isso, vocês anotam, não anotam?

Laís – Anoto.

Julio – Para isso você precisa saber o que está fazendo porque dependendo dos dados eu não vou nem saber o que está errado ou o que está certo.

Laís – Na dúvida eu anoto tudo.

Entrevista 04/06/02 (ANEXO B, p. 141)

Infelizmente, não tivemos acesso ao caderno do aluno Carlos, mas um outro aluno, Pedro, nos emprestou um caderno que utilizou quando aluno de outra instituição, onde iniciou sua graduação em Física.

O caderno desse aluno retrata muito bem o tipo de situação em que o caderno de laboratório não é utilizado para registro imediato das atividades, mas para fazer prévias de relatórios, sendo utilizado como um instrumento de avaliação do professor. Os cadernos com essa natureza não permitem o acompanhamento do trabalho real desenvolvido pelo aluno, a seqüência das atividades ou as hipóteses que levaram às suas realizações e, o que nos parece mais lamentável, a forma como o aluno superou seus erros.

Acreditamos que quando um aluno chega a resultados não esperados e tem condições de analisar seus procedimentos, discutir seus dados e compreender o que mediu ou deixou de medir, então seu “erro” transforma-se, justamente, naquilo que lhe permite fazer uma experiência. Claramente isso implica outra visão dos erros no processo de aprendizagem.

Koyré nos apresenta a grande possibilidade didática que existe na exploração dos erros no ensino: “*A História da Ciência nos revela o espírito humano no que ele tem de mais alto, em sua busca insatisfeita e sempre renovada, de um objetivo que sempre lhe escapa: a busca da verdade (...) O caminho na direção da verdade é cheio de ciladas e semeado de erros e nele os fracassos são mais freqüentes do que os sucessos. Fracassos, de resto, por vezes tão reveladores e instrutivos quanto os êxitos. Assim, cometeríamos um engano se desprezásemos o estudo dos erros; é através deles que o espírito progride em direção à verdade*” (KOYRÉ *apud* PEDUZZI, 2001, p.162). Entretanto, o que temos observado é que os erros são desprezados pelos alunos e professores. Os alunos os descartam e reiniciam os processos sem questionar os procedimentos utilizados; certamente, isso possibilitaria melhores condições de atingir os objetivos na nova tentativa. Os professores tampouco colocam os erros em discussão; em geral se limitam a apontá-los (depois que a experiência já terminou e os relatórios foram entregues) e, raramente, introduzem questões para problematizá-los.

A fala da aluna Laís permite exemplificar um outro costume que observamos: o uso de folhas soltas de fichários ou cadernos para registro dos dados. Vários alunos se utilizavam desse recurso, alguns chegando mesmo a fazer anotações na contracapa da apostila ou outro papel que estivesse a disposição no momento. Uma verificação dessas anotações mostraram que se tratava somente de dados e, esporadicamente, algum comentário do professor proferido no momento da introdução teórica da experiência. Em nenhum dos registros que estudamos encontramos características como aquelas que encontramos no caderno de laboratório de Faraday.

No entanto, a prática dos alunos mostrou um ponto em comum com a de Faraday: também ele se utilizou de folhas soltas para registrar suas atividades no laboratório, logo, o nome “diário” atribuído ao caderno de anotações de Faraday dá uma impressão errônea do mesmo. Ao contrário do que esse nome faz pensar, Faraday não ia descrevendo seus experimentos à medida que os fazia⁷; o “diário” contém apenas uma seleção de seus experimentos mais relevantes (na opinião dele). As evidências indicam que inicialmente Faraday utilizava apenas cadernos e somente depois de vários anos de trabalho passou a utilizar folhas soltas que foram posteriormente encadernadas. Assim, o “diário” parece ter sido conservado tal como Faraday o escreveu, sem faltarem folhas. Mas isso não indica que

⁷ Embora o prefácio de William Bragg à edição do “diário” de Faraday afirme: “Ele [Faraday] tinha o hábito de descrever cada experimento, de forma completa e cuidadosamente detalhada, no próprio dia em que ele era realizado” (MARTIN, *Faraday's Diary*, vol. 1, p. v), as evidências mostram que isso não acontecia.

não tenham existido *rascunhos* anteriores, que podem ter sido perdidos. Nota-se também que ele, às vezes, em anotações referentes a uma data, já se refere a resultados obtidos em data **posterior**, o que mostra o caráter não cronológico das anotações. Há, algumas vezes, períodos de vários **meses** durante os quais não aparece nenhuma anotação de Faraday no seu “diário”, embora ele estivesse ativo durante esse tempo. Os artigos publicados por Faraday contêm descrição de alguns experimentos que não aparecem no “diário”. Tudo isso mostra que esse “diário” é incompleto. Apesar disso, é um importante documento que auxilia a compreensão do trabalho de Faraday.

2.3.3 SITUAÇÃO 3 – RELAÇÃO ENTRE PROFESSORES E ALUNOS

Percebemos uma queixa latente na fala dos alunos, quanto ao envolvimento dos professores nas atividades a serem desenvolvidas. A sensação é de que a maioria dos alunos se sentia órfã dentro do laboratório, sem ter alguém para conduzi-la ou orientá-la. A troca com os demais alunos também parece não ter preenchido essa necessidade, visto que todos possuíam dúvidas e lacunas que, no entender deles, os professores deveriam ajudar a solucionar. Desta forma, ficou explícita a carência que os alunos sentiam do professor enquanto uma referência para o desenvolvimento das experiências.

P – Vocês acham então que se os professores ajudassem mais durante a experiência isso ajudaria vocês a entender o experimento, entender o que aquele equipamento está fazendo...?

Marcos – É, porque o professor parece estar em estado letárgico contemplativo, é incrível.

[...]

Carlos - ... porque isso tem uma medida, acho que eles erram nesta medida, porque até certo ponto o professor tem que fazer, a partir de um determinado ponto o aluno tem que fazer. Só que para alguns professores o aluno tem que fazer tudo sozinho, então, eu aprendi muita coisa em laboratório que, sabe, de tanto “fuçar” até descobrir como faz isso funcionar, só que isso vai levar mais tempo. Em um curso onde você tem prazo, você deixa de aprender muito, porque eles não te deram os subsídios necessários para você se aprofundar. Isso não é só nos laboratórios, em todos os cursos.

P – E qual sugestão vocês acham mais viável: que vocês tenham mais tempo para as experiências ou que os professores se envolvam mais, adiantando mais coisas?

Carlos – Eu acredito que eles tenham que se envolver mais, senão a gente vai ter menos conteúdo, o que não é interessante. Se eles se envolverem mais, ...eu não sei se está errado, sei que não é o certo, porque vão dar tudo mastigado para gente. Mas, se você quer se aprofundar,

tem que ter uma certa parte mastigada, porque não dá para você fazer tudo. Em três semanas, não dá para você sair daqui, ler toda a teoria que existe a respeito daquilo, livros e artigos para você ter a base. Depois que você fizer isso, você vai estudar para se aprofundar, não dá. Essa parte básica eles tinham que prover, para você correr atrás...

Entrevista 04/06/02 (ANEXO B, p.135, 138)

Essa situação relativa ao relacionamento dos professores e alunos revelou um aspecto do trabalho experimental totalmente inesperado. Porém, a importância que essa situação tinha para os alunos e os possíveis reflexos no desenvolvimento da aprendizagem levaram-nos a fazer o caminho inverso: voltar ao trabalho de Michael Faraday e verificar se essa situação também estava manifesta de alguma forma, tema abordado no capítulo que segue.

3. A DEPENDÊNCIA RUMO À AUTONOMIA

*Se o professor se coloca na posição de quem tudo sabe, não resta ao aluno desejo algum. Resta-lhe apenas submeter-se à figura do mestre. Cristina Kupfer adverte: 'Neste caso, a Educação fica subordinada à imagem de um ideal estabelecido logo de início pelo pedagogo e que, simultaneamente, proíbe qualquer contestação desse ideal. O que o pedagogo faz é pedir à criança que venha tão-somente dar fundamento a uma doutrina previamente concebida. Aqui, o aluno poderá aprender conteúdos, gravar informações, espelhar fielmente o conhecimento do professor, mas provavelmente não sairá dessa relação como sujeito pensante'.
(Monteiro, 2000)*

Neste curto capítulo nos ateremos a uma análise das relações estabelecidas entre os alunos do laboratório e seus professores, cujas singularidades nos parecem muito importantes para a compreensão dos diferentes caminhos trilhados pelos alunos quanto à conquista da autonomia experimental.

Através dos relatos dos alunos tentamos acompanhar a linha de sucessão dos laboratórios, visando entender como se foi construindo a visão dos alunos sobre os laboratórios e sobre os professores dos laboratórios. Na entrevista realizada no final do trabalho em campo, indagamos a opinião deles sobre os primeiros laboratórios:

P – Não parece Física, é isso?

Marcos – É ... a gente trabalhou muito com análise estatística dos dados e passou muito por cima a análise fenomenológica da coisa. A gente deixou isso meio de lado, porque a gente trabalhou tanto em análise estatística, só em análise de dados e não viu o que estava acontecendo realmente por trás da experiência. Então eu sinto uma deficiência muito grande. Agora eu entendo o que eu estou fazendo, pelo menos. Embora eu faça algumas coisas erradas, mas eu sei o que a gente quer e o que a gente está fazendo, e nos outros eu não conseguia nem sequer entender isso. A gente tirava os dados e no final apresentava um gráfico, deu uma reta e tudo bem.

Julio – É, eu concordo com o que ele falou (Marcos), eu acho que ficou tão redundante, no começo até que eu achei bom, porque você aprende a tratar estatisticamente os dados, mas isso só no primeiro laboratório e no segundo, e depois você repete...

Entrevista 04/06/02 (ANEXO B, p. 137)

A fala dos alunos parece revelar uma insatisfação com os primeiros laboratórios da graduação, devido à pouca compreensão das experiências realizadas e redução do trabalho a análises estatísticas, muito embora os alunos pareçam valorizar esse conteúdo aprendido. Essa valorização decorre, possivelmente, de ser um conteúdo novo, pela primeira vez abordado por um de seus professores, com um caráter similar aos dos conteúdos trabalhados nas disciplinas teóricas. A insatisfação, no entanto, parece aumentar nos laboratórios seguintes, chegando aos laboratórios intermediários, normalmente de eletromagnetismo, sobre os quais os alunos expressaram a sensação de nada aprenderem. Nesses laboratórios o professor nem chegou a ser uma referência importante para os alunos, sendo a apostila¹, via de regra, o principal instrumento utilizado na condução da experiência, embora também insatisfatória, pois não era um instrumento com o qual os alunos conseguissem dialogar.

Marcos – E olha que falta também um acompanhamento dos professores, porque você tem sérias dificuldades, tanto relativas aos equipamentos quanto relativas àquilo que você está estudando exatamente. E os professores que não fazem um acompanhamento daquilo que você está aprendendo, como por exemplo, o pessoal estava vendo a experiência e eles não estavam entendendo como funciona o equipamento e o professor estava sentado, nem sequer teve a mínima preocupação de levantar e dizer: o que está acontecendo de errado? Vamos ver e vamos discutir o conhecimento. Então você termina os laboratórios onde sua preocupação máxima é: vou tirar os dados rapidamente aqui e não quero saber o que está acontecendo, o que é essa experiência, eu só quero tirar os dados, fazer curva, fazer o relatório e entregar.

Fábio – No relatório você acaba analisando a parte da experiência também, você não tem idéia do que você está fazendo na hora da experiência em si, mas quando você vai fazer relatório...

Marcos – É, mas eu acho que isso é ruim. Eu acho que você só vai perceber o que está acontecendo no relatório, quando você não pode mais refazer a experiência ... você deveria entender a coisa na hora, acho que isso daria mais “possibilidade”.

Entrevista 04/06/02 (ANEXO B, p. 134)

Com relação às referências adotadas pelos alunos, verificamos que os últimos laboratórios do curso de graduação em Física guardam uma característica fundamental: as experiências sugeridas são experiências importantes na história da Física, com as quais os cientistas autores conquistaram Prêmio Nobel, por exemplo, os experimentos de Franck-Hertz e Millikan. Os alunos parecem valorizar isso de forma explícita.

¹ Conforme citamos anteriormente, os alunos recebem no início de cada experiência uma apostila explicando o que deve ser realizado, contendo ilustração da montagem experimental, conteúdos e referências sobre a teoria

Marcos – No meu caso, eu acho que uma das coisas mais interessantes, principalmente, Laboratório V e Laboratório VI, é você pegar uma experiência que foi feita no início do século XIX, ou melhor, no final do séc. XIX, início do século XX, você refazer aquilo e ver quais os problemas iniciais que os caras tiveram naquela época, fazendo aquela experiência. E ao mesmo tempo você entender um pouco da teoria e como foi feita a análise dos dados, quais os tipos de procedimentos que eles usaram, assim. Mas nos primeiros laboratórios eu acho que foi uma coisa assim muito... acho que não foi mesmo.

Entrevista 04/06/02 (ANEXO B, p. 136)

Ao analisarem os últimos laboratórios que cursaram na graduação, os alunos parecem ressaltar mais os aspectos positivos, o que nos faz crer que os alunos encontram nessas experiências históricas uma possibilidade de satisfação inédita dentre os laboratórios cursados. Colocamo-nos então a questionar: Como aconteceu essa mudança na percepção dos alunos quanto ao conhecimento? Como ficou então o papel do professor e sua influência na aprendizagem deles?

O relato dos alunos nos incitou a repensar nossa vivência tanto da graduação em Física quanto da pesquisa, e nos leva a acreditar que no Ensino Superior, onde as disciplinas teóricas e experimentais normalmente são separadas, existe uma diferença significativa entre seus docentes quanto à possibilidade de tornarem-se referência para seus alunos. Os professores de laboratório muitas vezes se envolvem pouco nas atividades que os grupos de alunos devem desenvolver, falam pouco e às vezes ficam ausentes do laboratório; conseqüentemente, dificilmente podem tornar-se uma referência para seus alunos. Essa situação parece ir-se instalando progressivamente a partir da primeira disciplina experimental da graduação, de forma que a relação entre professores e alunos vai-se transformando ao longo dos vários laboratórios didáticos. O aluno entra para a primeira disciplina experimental com uma expectativa de “fazer Física de verdade” e parece contar com o professor como sua referência para realizar essa tarefa, no entanto o aluno parece ir-se frustrando à medida que os cursos se sucedem e a expectativa aumenta. Quanto aos laboratórios finais, eles são enfrentados com uma nova ilusão: fazer Física experimental como os grandes físicos fizeram. Porém, parece que nem o professor, nem a apostila conseguem satisfazer esta expectativa e os alunos são levados, ao menos, a identificar-se com o cientista consagrado e famoso, autor da experiência

em jogo. Contudo, essa busca parece não dar conta da realização da mesma, que normalmente é sofisticada e requer uma habilidade experimental ainda não atingida pela maioria.

Ao percebermos esse deslizamento das referências dos alunos: dos professores para as apostilas, das apostilas para os cientistas, fomos procurar se existiu algo similar na trajetória de Faraday e encontramos uma resposta positiva.

No início de suas pesquisas em eletromagnetismo ele foi, claramente, guiado pelas idéias de H. Davy, seu mentor, adotando inclusive interpretações conflitantes com as de Orsted, pioneiro no assunto. Foi o caso da interpretação da experiência com a agulha magnetizada realizada por Orsted; este descreveu o fenômeno em termos de movimento de rotação da agulha, enquanto Faraday seguiu a interpretação de H. Davy falando em atrações e repulsões.

A falta de contribuições originais e a opção por publicar anonimamente seus primeiros artigos também evidenciam a insegurança que caracteriza os sentimentos das pessoas ao ingressarem em uma nova área, quando normalmente se apegam ao conhecimento já consolidado sobre o assunto e às opiniões daqueles que consideram possuidores do conhecimento; no caso de Faraday, a referência seria Davy.

Esses dois exemplos ilustram muito bem essa primeira fase das pesquisas de Faraday, que poderíamos re-intitular "**Primeira fase de pesquisas (1820-1821): a tutoria de Humphry Davy**".

A segunda fase de pesquisas de Faraday foi marcada pelas experiências de rotações eletromagnéticas, que foram a primeira grande contribuição à área e iniciaram a ampla correspondência estabelecida com Ampère. Depois de algumas pesquisas, Faraday passou a considerar fortemente as idéias deste sobre seus experimentos e suas interpretações, inclusive fazendo-nos sugerir que essa seria a razão da volta repentina de Faraday às experiências eletromagnéticas, quando elaborou a série de experiências em 1823.

O fato é que Ampère havia publicado o artigo "Expériences relatives à des nouveaux phénomènes électro-dynamiques" nos *Annales de Chimie et de Physique*, em 1822, em que relatou a construção de um aparelho para observar o movimento de rotação de um ímã submetido à ação de condutores voltaicos, o qual era um aperfeiçoamento de um experimento que havia anteriormente descrito em uma carta dirigida a Faraday.

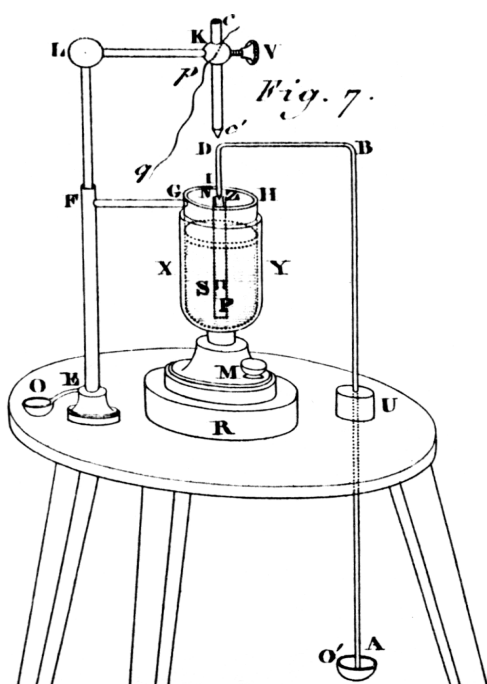


Figura 26 – Aparelho utilizado por Ampère para observar fenômenos de rotação.

Tratava-se basicamente de um ímã cilíndrico com possibilidade de encaixe de contrapesos em suas extremidades c e c' que poderia flutuar no mercúrio contido em um recipiente. Também mergulhado no mercúrio estaria um anel de cobre sustentado por uma haste (a esquerda na figura ao lado) de mesmo material, em cuja extremidade estaria um recipiente com mercúrio. Uma outra haste metálica (à direita) transportaria a corrente voltaica proveniente de uma pilha, levando-a diretamente ao mercúrio ou em contato com o ímã, através da ponta Z .

Esse aparelho serviria para repetir experiências de rotação, e Ampère começou analisando a direção das correntes que surgiam na superfície do mercúrio quando a corrente era transportada a este pela haste metálica. Em seguida, analisou as correntes que atravessam o ímã e a corrente vertical descendente, chegando à seguinte conclusão:

De acordo com o que precede, o movimento de translação do ímã sempre ocorrerá enquanto ele for atravessado apenas por correntes que entram de um lado no ímã e saem pelo outro; mas se todas entrassem no ímã, ou se todas saíssem dele, não resultaria mais senão um movimento de rotação do ímã sobre si próprio (AMPÈRE, 1822, p. 70).

Essas experiências estão bastante detalhadas no artigo e Ampère discutiu qual a causa do movimento em cada uma delas. Acreditamos que este artigo impulsionou Faraday, pois, embora não se tenha utilizado de aparelhos tão engenhosos como os de Ampère, os princípios que levariam às rotações, por ele testados, são muito semelhantes aos relatados no artigo. Além disso, encontramos outra evidência na correspondência de Faraday, em 18 de abril de 1823, quando Ampère responde² a uma carta dele, que parece ser uma carta de 26 de março de 1823 (esta carta é citada³ por Jean Nicolas Pierre Hachette em 19 de abril de 1823, mas não está presente na correspondência de Faraday que foi preservada). Ampère diz que lhe faltava tempo para desenvolver inteiramente sua teoria e, portanto, naquela carta iria limitar-se a

² *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 192, vol. 1, p. 302-308

³ *The correspondence of Michael Faraday*. Carta 193, vol. 1, p. 313-314.

desenvolver três corolários, verificados experimentalmente, que embora pudessem parecer, a primeira vista, objeções à teoria, eram provas desta.

O primeiro e mais interessante resultado você [Faraday] obteve, este me foi comunicado por M. Hachette, referindo-se à rotação de um ímã flutuando em mercúrio. [...] O segundo corolário desta teoria, do qual terei poucas coisas a lhe dizer, pois este é um dos resultados dos cálculos de Mr. Savary que em breve serão publicados, repousa no fato de que um ímã, tendo um dos pólos no eixo da ferradura móvel, tende a fazer este rodar na mesma direção, não importando se o ímã está na posição vertical, inclinada ou horizontal. [...] O terceiro corolário concebe a maneira na qual um ferro condutor ou mais do que um fio de aço, enrolado em uma hélice, deve ser magnetizado pela ação de uma corrente que corre ao longo de um condutor [...] (AMPÈRE in JAMES, 1991, p. 302-304).

Ampère elogia Faraday por não aceitar de imediato uma teoria e diz que muitos fenômenos não foram previstos por ele ao elaborar a teoria três anos antes, incluindo o movimento de rotações contínuas descoberto por Faraday.

De acordo com a carta de Ampère, portanto, podemos tentar reconstruir a seqüência de acontecimentos da seguinte forma: (1) tanto Ampère quanto Faraday estavam estudando rotações associadas ao eletromagnetismo, sendo esses fenômenos considerados importantes para testar a própria hipótese de Ampère sobre as correntes internas dos ímãs; (2) um artigo publicado por Ampère sobre o assunto estimula Faraday a estudar mais detalhadamente muitos dispositivos diferentes; (3) Faraday comunica a Ampère, através de uma carta (perdida), novas observações que lhe parecem inexplicáveis de acordo com a teoria deste; e (4) Ampère responde, proporcionando explicações sobre os fenômenos.

Esses episódios nos fizeram notar que, à medida que aprofundou suas pesquisas, Faraday abandonou algumas das idéias iniciais compartilhadas com Davy, passando a tomar como referência as idéias de Ampère, mas podemos perceber uma diferença neste novo processo: Faraday não apresentou mais a atitude de adoção sistemática das interpretações alheias, como aconteceu na primeira fase das pesquisas, mas, ao contrário, questionou a teoria de Ampère. Essa frutífera relação estabelecida entre eles nos levaria a re-intitular esse período como "**Segunda fase de pesquisas (1821–1823): o diálogo com Ampère**".

Esta troca com um membro da comunidade científica, reconhecido e respeitado, parece ter conferido a Faraday o sentimento de inclusão nesta comunidade. Até mesmo as acusações do Dr. Wollaston podem ter colaborado para isto, o que responderia o fato de

Faraday sair do anonimato e passar a assinar seus artigos. Ele não era mais um mero assistente de laboratório e isto, provavelmente, lhe conferia segurança para “alçar vôos mais longos”. A descoberta da indução eletromagnética e a formulação de sua lei, com certeza, é fruto de todo esse processo de amadurecimento, onde cada fase não pode ser considerada menos importante que a outra, em nossa opinião. Poderíamos re-intitular essa fase como "**Terceira fase de pesquisas (1825-1832): a conquista da autonomia**", posto que Faraday passou a elaborar seus próprios conhecimentos, fornecendo a base para o desenvolvimento de novas pesquisas e tornando-se ele mesmo uma referência.

Uma possibilidade teórica de entendimento deste deslizar das referências adotadas por Faraday e pelos estudantes, é conceber que a aprendizagem em geral está ligada a três personagens: o conhecimento, o detentor do conhecimento, ou seja o instrutor, e aquele que deve adquirir o ensinamento, ou seja, o aprendiz. Embora muitas outras possibilidades de aprendizagem existam fora da instituição escolar, parece-nos que também elas guardam essa necessidade de sempre se aprender de *outrem*, ou seja, para que possamos aprender precisamos de algo ou alguém, do qual vamos aprender. Na escola, *“quando o que está em questão é a ‘relação’ entre professor e aluno, a diferença é a razão desse encontro, pois se supõe que exista, por um lado, alguém que sabe; por outro, alguém que não sabe e precisa saber. Uma diferença não só em termos de conhecimentos formais, mas de “experiência de vida” (MONTEIRO, 2000, p. 21).*

Entender essa “relação” exige uma aproximação entre os campos cognitivos e subjetivos, o que pensamos ser possível através do uso de alguns conceitos do referencial psicanalítico lacaniano. Assim, para ALMEIDA (2002), *“não se trata de aplicar a psicanálise ao campo social, mas de utilizar o saber oriundo da teoria e da experiência psicanalíticas para construir algumas observações e hipóteses centradas principalmente em torno de algumas questões fundamentais do campo educativo, visando produzir novos conhecimentos sobre este campo, especialmente sobre as posições subjetivas do aluno e do professor frente ao objeto de conhecimento e sua mediação”.*

Dentro desta concepção, a necessidade de alguém do qual vamos aprender não implica a existência de um depositário de saber externo que vai transpor concretamente parte desse saber para alguém; pelo contrário, esse algo ou alguém do qual aprendemos é o nosso eleito como o detentor do suposto saber, é a nossa Referência simbólica, o Outro. MRECH (1999, p.135) considera a existência do outro da semelhança ou **pequeno outro**, *“concebido de uma forma imaginária, onde o sujeito atribui ao outro externo as mesmas características que ele identifica nele mesmo”*, e do Outro Simbólico ou **Grande Outro**; *“o Outro dos sujeitos é um*

produto da incorporação da cadeia de significantes familiar do sujeito. O Outro acaba sendo o lugar do tesouro dos significantes. Do Outro como Outro simbólico, do Outro da referência... Um Outro que vai sendo internalizado pelo sujeito até se tornar o seu parceiro mais íntimo”.

O Outro da referência, portanto, pode ser um livro, uma música, uma peça teatral, um filme, ou seja, algo depositário de um conhecimento especial, porém, mais frequentemente, é uma pessoa. Percebemos de forma mais ou menos clara, como fatores do tipo, credibilidade, carisma, firmeza, disponibilidade etc. podem ser favoráveis ou não na relação estabelecida entre o aprendiz e sua Referência⁴, quando esta é uma pessoa.

Vista sob este enfoque, a tarefa de um professor torna-se, primeiramente, estabelecer-se como uma Referência para seu aluno, ocupar o lugar do detentor do suposto saber e, posteriormente, levar seu aluno à independência dele enquanto Referência, fazendo-o gradativamente tornar-se sua própria Referência, ou seja, conquistar autonomia, tornar-se o detentor do próprio saber. Nas palavras de Monteiro, *“a partir do referencial psicanalítico, compreendemos que a ação educativa se cumpre quando o aluno, movido pelo desejo do saber, investe na figura do professor, ao supor nele a posse do saber. Obviamente, para “alimentar” esse investimento, o professor deve sustentar a posição na qual é colocado. Como diz Cristina Kupfer: “Tudo o que esse aluno quer é que seu professor suporte esse lugar em que o colocou. Basta isso”* (MONTEIRO, 2000: 26).

Em nossa pesquisa nos deparamos com situações onde o professor raramente era considerado uma Referência por seus alunos. Percebemos que essa situação foi sendo construída gradualmente; pois nos primeiros laboratórios, talvez devido ao conteúdo bastante teórico a ser trabalhado, os alunos pareciam enxergar no professor o detentor do saber, no caso o saber estatístico. Nas disciplinas sucessivas as tarefas eram essencialmente práticas e os professores pareciam envolver-se menos. A postura por eles adotada subentendia uma autonomia dos alunos que quase nunca eles tinham alcançado. Isso parece ter causado uma frustração nos alunos, pois, *“para o aluno, o professor é aquele que sabe sobre o seu desejo: ele é o sujeito suposto saber”* (MONTEIRO, 2000, p. 89).

Parece-nos, porém, que essa situação, que ia distanciando professor e aluno, não estava clara para nenhuma das partes. O aluno se sentia frustrado e queria mais do professor, mas provavelmente não entendia que esse desejo vinha do lugar que conferiu ao professor; este, por sua vez, nem ao menos parecia sentir qualquer falta. *“Em uma palavra, mesmo tendo*

⁴ Passaremos a utilizar o termo Referência para nos referir ao Grande Outro da referência.

de ocupar um lugar conferido pelo aluno, o professor nada sabe sobre esse lugar onde a subjetividade do aluno o coloca, por uma simples razão: é o desejo inconsciente que está determinando esse lugar” (MONTEIRO, 2000, p. 27).

Restava aos alunos procurarem outras Referências, o que pareceu acontecer com a adoção da apostila e depois do saber do Outro Cientista Famoso. Os professores pareciam acomodados diante dessa situação, o que poderia acabar no perigo apontado por MONTEIRO (2000), *“de o professor renunciar à posição em que é colocado pelo aluno, ocupando uma posição passiva de espera por um pretensão desenvolvimento natural, ou se destituindo do saber, por atribuí-lo aos especialistas do desenvolvimento (os supostos representantes da ciência)”*. O quadro parece representar dois movimentos desencontrados: de um lado, o aluno querendo intensamente (e inconscientemente) um Mestre, que o guie no contato com a Ciência; do outro, e o professor querendo alunos autônomos, capazes de enfrentarem sozinhos pelo menos as dificuldades menos complexas.

Na realidade o processo de aprendizagem é vivenciado por etapas subjetivas, sendo a duração de cada uma variável e dependente do contexto. Se pode ser bastante simples, inclusive para o bom senso, aceitar que um aluno precisa de um Mestre para aprender, valorizando o que é importante e desprezando o que não tem valor, fica um pouco mais complicado entender como se daria o processo de alcançar a autonomia. Assim como precisamos de um guia para explorar locais desconhecidos, e quando o ambiente se torna familiar já não necessitamos de sua ajuda, também na aprendizagem, uma vez atingida a familiaridade com o conhecimento adquirido, não precisamos mais de um professor que nos sinalize o que deve ser valorizado. Esta é uma primeira etapa que os alunos, em geral, conseguiram alcançar nos laboratórios e para a qual os professores ofereciam uma ajuda inicial: torná-los familiarizados com a estatística e com uma parte dos instrumentos.

No entanto, alcançar a familiaridade, por si só, não torna nosso o conhecimento elaborado por outros. Não nos torna autônomos e criativos. Faraday rapidamente alcançou a familiaridade com o conhecimento de Física, com a ajuda de Davy, mas demorou mais para tornar-se autônomo e criativo. Para ser incorporado ao nosso *saber*, o conhecimento deve ser investido por nossa libido e transformado em objeto de satisfação inconsciente, em objeto que acalma provisoriamente nosso desejo. Em se tratando de um processo fundamentalmente inconsciente, nem o próprio sujeito pode fazer isso à vontade. Se investir inconscientemente num objeto escapa do domínio da consciência, evidentemente foge também do controle do professor. Então, depois de ter introduzido o aprendiz no mundo do conhecimento novo, será que o *Mestre pode fazer algo para ajudar seu discípulo a elaborar seu próprio saber?* Em

nossa opinião existem três formas, progressivamente mais importantes, para o professor facilitar a produção autônoma de conhecimento por parte de seu aluno.

Uma primeira maneira é não tornar o controle da aprendizagem excessivamente rígido e detalhado, de forma que o aluno tenha de dar conta de qualquer passo. Este controle pode garantir que o aluno repita exatamente o que o professor quer, mas não permite que o saber próprio do aluno seja posto em jogo e articulado com o novo conhecimento. Então, a primeira ajuda que o professor pode dar é não querer ajudar demais, e deixar o espaço para que o aluno consiga elaborar por si mesmo.

Uma segunda maneira para facilitar o alcance da autonomia por parte do aluno é não abandoná-lo a si mesmo: estar presente para que ele possa encontrar e pedir conselhos, mesmo que depois resolva de forma diferente. Se o professor se tornar docente-assessor, terá a função de diminuir o campo de escolha de seu aluno, aliviando a correspondente angústia e contribuindo para a aceitação dos riscos envolvidos. No caso de Faraday, as fases de dependência em que teve como Referência Davy e Ampère foram cruciais para que pudesse desenvolver-se. Alunos abandonados à sua vontade de maneira prematura, têm recusado o esforço de aprender ou têm responsabilizado seus docentes por seu fracasso (FREITAS et al., 2000). Esta tornou-se uma queixa constante em muitos laboratórios didáticos do Ensino Superior, provavelmente devido aos professores terem identificado a familiaridade dos alunos com a autonomia.

Finalmente, uma terceira maneira de favorecer a criatividade de seus alunos é dando o exemplo de criatividade. Muitos profissionais bem sucedidos e originais em seu trabalho têm manifestado uma grande dívida com seus Mestres, exatamente porque deles aprenderam a romper com o já estabelecido, com as modas, com as rotinas aprovadas, conseguindo resultados inovadores.

O estilo de um professor é o seu modo de obturar a falta no Outro. [...] Testemunhem o modo **como** me relaciono com o objeto de conhecimento e terão uma apreensão de **como** ele participa de minha economia libidinal, **como** eu o faço desdobrar-se em cadeias infindáveis, **como** ele me distrai de minha falta. O que se transmite é esse **como**, esse modo de relação com o objeto, essa estrutura de relação que é vazia. [...] Seu aluno tomará dessa estrutura vazia para novamente preenchê-la (KUPFER, 2000, p.133-134).

O exemplo de uma relação intensa e livre com o conhecimento por parte do docente, longe de amarrar seu aluno num conhecimento alienado, o estimula a ter ele próprio uma

relação intensa e livre. Em nossa opinião o professor pode *influenciar* o aluno para que ele rompa com a *dependência*. A nossa interpretação de que o estilo docente transfere implicitamente, ao aluno que esteja querendo isso, uma *causa*, ou seja, um dinamismo de ultrapassagem, e não um conteúdo vinculante ou alienante, parece sugerir a possibilidade de uma influência que não prende e não amarra mas, pelo contrário, liberta e estimula a originalidade.

O conhecimento destes aspectos subjetivos pode por um lado trazer certo conforto ao professor, ao dar-se este conta de que a falta de controle total sobre os acontecimentos da sala de aula não implica uma incapacidade pessoal ou uma deficiência em sua formação. Por outro lado, pode representar, como nos relata ALMEIDA (2002), uma angustia na prática docente: *“Talvez eu possa situar aqui, uma das questões fundamentais ligadas aos ideais educativos: paga-se um preço para se viver na cultura e paga-se, também, para pensar e conhecer “autonomamente”, pois o pensamento e o acesso ao conhecimento implicam nessa dívida com o Outro, com quem rompemos e fomos infiéis, arrancando deste Outro o que até então era-lhe suposto pertencer. A dívida se instala pelo dom e pelo benefício recebidos de termos sido introduzidos na linguagem e no pensamento por meio do Outro. Provavelmente por ser esta uma dívida impagável, jamais me senti segura e garantida na posição de Mestre”*.

Ocupar a posição de Mestre revela-se assim uma tarefa difícil e, por vezes, angustiante, sendo possível somente para aqueles que a realizam por escolha pessoal, consciente e inconscientemente. Mesmo desta forma, os desafios permanecem grandes, a começar pelos cursos de formação que priorizam somente o domínio teórico de determinados conteúdos científicos e didáticos, visando capacitar o professor no preparo e planejamento de suas intervenções didáticas. *“Entretanto, existe uma outra competência, que chamamos dialógica, e que consiste essencialmente em escutar o aluno e conduzi-lo até ele se posicionar pessoalmente frente ao conhecimento científico. [...] Sem ela, o professor, mesmo dominando muito o campo científico e didático, será inadequado na condução e sustentação do processo que leva os alunos a pensarem por si mesmos aquilo que aprenderam”* (VILLANI, 1999).

3.1 AS QUESTÕES QUE TROUXEMOS DO CAMPO

Nosso trabalho historiográfico e etnográfico revelou três pontos importantes que parecem sufocar o trabalho experimental dos alunos no laboratório didático analisado: o

desconhecimento da aparelhagem experimental, a falta de registro detalhado dos eventos e a interação limitada com os docentes. Chamou-nos atenção o particular de se tratar de faltas, de algo a menos em relação ao que seria desejável numa experiência de laboratório significativa para o aluno. Essas faltas parecem representar as pontas visíveis de uma realidade mais profunda: a cultura generalizada na instituição de que o laboratório didático tem uma função principalmente **ilustrativa** na formação de um físico. Se a experiência de laboratório deve ilustrar a teoria, então não é um foco de aprendizagem o funcionamento dos aparelhos, pois basta que eles funcionem. Também o registro dos eventos experimentais envolveria o alocamento de um tempo desnecessário em relação à finalidade de obter determinados resultados. Finalmente, o cuidado do professor, nessa perspectiva, deve focalizar a ausência de erros, não a compreensão dos mesmos. Enfim, parece que todos, alunos e professores, estão agindo como se estivessem implicitamente capturados pelo discurso de que *‘o importante da experiência de laboratório didático é dar certo’*.

No próximo capítulo tentaremos analisar mais profundamente a raiz dessa concepção de laboratório e destas práticas que predominam em algumas de nossas instituições de Ensino Superior.

4. ANALOGIAS E ANÁLISES POSSÍVEIS

O professor trouxera de casa os nossos trabalhos escolares e, chamando-nos um a um, devolvia-os com o seu ajuizamento. Em certo momento me chama e, olhando ou re-olhando o meu texto, sem dizer palavra, balança a cabeça numa demonstração de respeito e de consideração. O gesto do professor valeu mais do que a própria nota dez que atribuiu a minha redação. O gesto do professor me trazia uma confiança ainda obviamente desconfiada de que era possível trabalhar e produzir. (...) Este saber, o da importância desses gestos que se multiplicam diariamente nas tramas do espaço escolar, é algo sobre o que teríamos que refletir seriamente.
(Paulo Freire, 1996)

Dentre as diversas lições deixadas pelo educador brasileiro Paulo Freire, aquela que nos atinge de forma mais impactante e mais preocupante é que na educação é imprescindível que educadores e educandos se olhem, dialoguem e se enxerguem como duas pessoas em formação antes de se verem como atores de seus papéis, antes de se posicionarem dentro de uma hierarquia ou mesmo se colocarem em lados opostos.

Na pedagogia da autonomia freiriana a organização do espaço, os olhares de respeito e consideração, “*os pormenores da cotidianidade do professor, portanto igualmente do aluno, a que quase sempre pouca ou nenhuma atenção se dá*” (FREIRE, 1996, p. 50), não significam a eliminação da diferença entre educadores e educandos, uma condição necessária para que a aprendizagem aconteça, significam apoio, significam atenção para os saberes que não estão prescritos nos manuais didáticos, mas que por vezes são tão ou mais importantes do que aqueles na relação entre os professores e seus alunos.

Não é difícil compreender, assim, como uma de minhas tarefas centrais como educador progressista seja apoiar o educando para que ele mesmo vença suas dificuldades na compreensão ou na inteligência do objeto e para que sua curiosidade, compensada e gratificada pelo êxito da compreensão alcançada, seja mantida e, assim, estimulada a continuar a busca permanente que o processo de conhecer implica (FREIRE, 1996, p. 134).

Pensamos que essa educação que visa a autonomia do aluno encontra barreiras na forma como o professor se enxerga e se entende enquanto autoridade dentro da sala de aula. Se nas séries iniciais é mais freqüente encontrarmos essa relação do professor que apoia e conduz seus alunos na superação de suas dificuldades, tanto mais distorcida vai ficando essa

relação à medida que os anos de escolarização se acrescentam. Parece ser cada vez mais difícil olhar para as pessoas que existem em nossos alunos e fazer com que nossos alunos enxerguem em nós algo além de um depositário de conhecimentos que dizemos que eles devem aprender.

No Ensino Superior parece existir a idéia de que os alunos devem ser capazes de estudar e vencer sozinhos suas dificuldades, que se parte da autonomia do aluno, não se caminha em sua direção. Frequentemente os professores são vistos como uma fonte sagrada de conhecimentos na qual os privilegiados alunos terão a honra de saciar a sede, visão que decorre principalmente do fato de que a distância entre aquele que ensina e aquele que aprende é marcada não só pela diferença entre o professor e o aluno, mas pela diferença entre o pesquisador e o aluno.

Principalmente nas universidades públicas, frequentemente a docência é uma atividade secundária no trabalho dos professores, que ocupam a maior parte do tempo com a pesquisa científica. Isto nos obriga a reconhecer a importância da pesquisa e a produção dos saberes decorrentes dela como fatores que influenciam o processo de aprendizagem.

Reconhecer a importância do papel desempenhado pelo saber acadêmico na produção dos saberes escolares, atribuída pela própria instituição escolar, não implica necessariamente em assumir uma visão hierarquizada na qual os primeiros são vistos como a única fonte de inteligibilidade e de leitura do mundo (GABRIEL, 2001).

Assim, consideramos que, ao realizarmos nossa pesquisa em um Instituto de Física e nos propormos a analisar o processo de ensino e aprendizagem dentro dos laboratórios, temos de levar em conta não somente a relação professor/pesquisador – aluno, mas também a relação professor – saber – aluno, reconhecendo que *“a escola nunca ensinou saberes (‘em estado puro’, é o que se desejaria dizer), mas sim conteúdos de ensino que resultam de cruzamentos complexos entre uma lógica conceitual, um projeto de formação e exigências didáticas”* (ASTOLFI e DEVELAY, 1995, p.51) e que isso implica compreender o processo de transformação que um saber sofre desde sua construção até o ensino escolar.

Ignorar essa transformação é o mesmo que acreditar que um físico, que conhece a Física porque a pesquisa é, a princípio, um professor de Física, que sabe ensinar Física. Embora importante, sabemos que o domínio dos conteúdos não é o único pré-requisito para ensinar Física, a prática do ensino requer outras competências, a articulação de outros saberes

além do saber acadêmico, e acreditamos que o conceito de transposição didática pode ajudar a entender como esses saberes se articulam no campo da educação superior.

O conceito de transposição didática utilizado inicialmente na didática francesa por Chevallard e Joshua, trata das transformações que sofrem os saberes pelas influências dos diversos segmentos do sistema educacional (onde a rede de influências é chamada noosfera). PAIS (2002), citando Chevallard, define: *“Um conteúdo do conhecimento, tendo sido designado como saber a ensinar, sofre então um conjunto de transformações adaptativas que vão torná-lo apto a tomar lugar entre os objetos de ensino. O trabalho que, de um objeto de saber a ensinar faz um objeto de ensino, é chamado de transposição didática”*.

Os saberes estariam confinados em três esferas, patamares, ou níveis: **o saber sábio**, produzido e validado pela comunidade científica que o apresenta despido do processo de construção; **o saber a ensinar**, resultado da transformação do saber sábio em um saber organizado por níveis de dificuldades que aprofunda a descaracterização do processo de construção do saber que, normalmente, é apresentado nos manuais (objeto de trabalho do professor) de forma linear; e **o saber ensinado**, que se define dentro do ambiente escolar, por influências de pais, alunos, diretores, professores e outros agentes da instituição escolar. A importância da transposição didática se traduz na necessidade de que um conhecimento, além de ser bom, tem de ser possível de ser ensinado e aprendido pelos alunos.

Ao procurarmos analisar a noosfera no caso em questão, percebemos um aspecto que consideramos interessante: a homogeneidade dos elementos constituintes. O pesquisador, o editor dos manuais (apostilas) e o professor pertencem ao mesmo nicho epistemológico, não raro são a mesma pessoa, o que poderia significar a eliminação da distância entre os saberes, uma transposição direta da produção do conhecimento para o ensino deste conhecimento no laboratório. No entanto, percebemos que isso não acontece, a experimentação no ensino tem um papel muito diferente do que na pesquisa.

O professor, enquanto pesquisador, enxerga na experimentação um mecanismo de construção de enunciados, de produção de conhecimentos, mas quanto passa para a esfera do saber a ensinar, ou seja, quando é colocado na posição de planejar a experimentação para os estudantes, transforma-a num mecanismo de reprodução de experiências, de confirmação de hipóteses alheias, cujos resultados são previamente conhecidos. Como ganho dessa transposição vemos que, se por um lado os alunos se frustram na expectativa de criação, de “fazer Física como os cientistas fazem”, por outro lado eles são introduzidos no paradigma da experimentação: tratamento de dados, apresentação de resultados para validação dos pares etc.

De certa forma, os alunos percebem isto nas primeiras disciplinas de Física Experimental, quando valorizam o saber estatístico que enxergam em seus professores; porém, essa visão não é reforçada nas disciplinas seguintes, e o alto grau de exigência, somado à escassez de tempo (nesta etapa os alunos já foram introduzidos ao paradigma nas disciplinas teóricas básicas e estão cursando disciplinas mais “pesadas”), sufoca essa satisfação inicial.

A questão do tempo merece uma discussão atenciosa. Sendo diretos, diríamos que a pesquisa experimental é uma atividade demorada. Se tomarmos como exemplo a construção da Lei da Indução, proposta por Faraday, veremos que passaram onze anos desde suas primeiras experiências, construindo experimentos, discutindo os resultados com a comunidade, formulando novas hipóteses até chegar à construção do fato. Mesmo atualmente, com a aceleração promovida pela automatização e outros avanços tecnológicos, uma simples medida pode demorar alguns minutos, algumas horas ou vários dias.

Claramente, uma proposta de ensino deve atender à limitação de tempo das disciplinas, o que tem implicado (na esfera do saber a ensinar), no caso do laboratório, a escolha de várias experiências rápidas e a eliminação de algumas etapas da atividade experimental. Em nossa opinião, as etapas que são sacrificadas: escolha de um problema, levantamento de hipóteses e preparação do aparato experimental são fundamentais para a formação experimental e a subtração delas provoca uma formação “aleijada”.

Acreditamos que ter contato com várias experiências diferentes e proporcionar maior treinamento na redação de relatórios não justifica o “aleijamento” na formação e as dificuldades que os alunos apresentam no domínio do aparato experimental, e declarações como: *“é pré-requisito para você entrar na Física que você seja um técnico em eletrônica”*¹ reforçam a necessidade de superar essa falta. O exemplo de Faraday, que planejava e construía os próprios instrumentos para testar suas hipóteses, nos permite pensar que essa poderia ser uma possibilidade para superação de algumas das dificuldades, porém, é certo que o tempo e as experiências destinadas aos laboratórios didáticos teriam de ser bastante diferentes da prática atual, se quiséssemos que os alunos planejassem e construíssem seus próprios equipamentos.

Contudo, é a ausência de um problema de pesquisa (sobretudo nas disciplinas intermediárias e finais) o que mais nos preocupa em relação ao laboratório didático. O pesquisador sempre é levado ao laboratório por um problema; Faraday tinha o problema da

¹ Trecho da fala do aluno Julio em entrevista realizada em 04/06/02.

analogia na interface da eletricidade com o magnetismo: se a corrente elétrica produzia uma alteração no campo magnético, deveria haver uma alteração na corrente elétrica com a variação do campo magnético. Mas ao estudante nenhum problema é apresentado, a ele não é dada a possibilidade de *gratificação pela compreensão alcançada*, porque não há o que compreender, logo nada *estimula sua curiosidade, nem a busca pelo conhecer*. Uma constatação feita com os alunos: “*todos dizem que não gostam de nenhuma matéria com prefixo LAB*” (R.A. 02/04/02) nos leva a dizer que a grande maioria dos estudantes é levada ao laboratório pela obrigatoriedade de cursar a disciplina e o que os mantém lá é a necessidade de ter notas suficientes para ser aprovados.

As práticas coletivas negociadas em sala de aula, relativas aos parâmetros envolvidos em determinado fenômeno físico, marcam a necessidade de uma nova negociação que deverá resultar em um processo comum para a coleta, registro e no tratamento de dados a respeito desses parâmetros. A cada atividade experimental, o método experimental é reconstruído, não mais na acepção de ser explicitamente um objeto a ensinar, mas um meio que permita questionar o fenômeno físico enfocado. Neste contexto, o estudante não se limita a “imitar o cientista” de forma caricatural e artificial, mas através do envolvimento e do desafio de checar suas próprias hipóteses (PINHO ALVES, 2002, p. 7).

Uma alternativa viável seria a implantação de uma proposta de laboratório com menos experiências e que propusesse situações-problema em vez de experimentos fechados, permitindo aos estudantes exercitarem a curiosidade e a criatividade para encararem os problemas e planejarem a experiência, incluindo a montagem experimental. Também caberia nesse tipo de proposta o exercício da recontextualização histórica, que diminuiria o caráter linear e cumulativo com o qual a Ciência é apresentada aos alunos. Pinho Alves (2002) propõe um belo exemplo do uso da História do Eletromagnetismo para desmontar a idéia de que um acaso teria sido o responsável pela descoberta de Orsted.

No processo de Transposição Didática do saber ensinado, o atributo da recontextualização histórica permite criar um cenário didático rico e diversificado. Ao contextualizar a presença de um problema presente na comunidade científica é possível reforçar os comentários relativos aos mecanismos de produção do saber sábio. Deixar em evidência que o fato da corrente elétrica produzir efeitos magnéticos era preocupação e estava presente no trabalho de vários pesquisadores e não só de um. Ou seja, que mais cedo ou mais tarde seria encontrada a solução. [...] Uma atividade experimental seria a reconstituição pelos estudantes do trabalho de

Orsted baseada em seus próprios escritos. Seria uma das raras situações em que ocorreria diretamente uma Transposição Didática do saber sábio para o saber ensinado. [...] O envolvimento do estudante nesta reconstituição experimental mostrará as dificuldades e os cuidados experimentais envolvidos na experiência e que a observação, nesta situação, era o “instrumento” que possibilitava verificar as eventuais alterações da agulha da bússola. É importante a ênfase na observação, pois esta se faz presente devido a uma proposição inicial: a correlação entre os efeitos da corrente e o magnetismo (pré-teoria) (PINHO ALVES, 2002, p. 11).

Acreditamos que condições dessa natureza permitiriam às disciplinas experimentais propiciar um outro tipo de relação do aluno com a experimentação, onde o empírico estivesse presente, mas para que a atividade experimental servisse ao objetivo final de aprender Física, semelhante ao que ocorre com o pesquisador experimental, como verificamos através do trabalho de Faraday. Deixamos claro que em nenhum momento pretendemos comparar o cientista Michael Faraday com os estudantes de Física, mas concordamos com NARDI e TEODORO (1998, p. 349) *“que buscar na História da Ciência subsídios para o ensino não significa encarar o aluno como mero reproduzidor dos caminhos percorridos pelos cientistas ao longo da história, mas sim reconhecer na ciência um processo de construção que encontrou inúmeros obstáculos em seu desenvolvimento, tentando aproveitar essa contribuição na elaboração de atividades que tornem o ensino mais eficaz”*.

Na busca da compreensão dessa descaracterização da atividade experimental, tentaremos fazer uma análise à luz da transposição didática, partindo da experimentação no contexto da pesquisa científica (esfera do saber sábio), onde utilizaremos o trabalho de Michael Faraday como parâmetro; passaremos ao contexto da elaboração dos manuais (esfera do saber a ensinar), tomando por base as apostilas utilizadas nos laboratórios; e chegaremos até a experimentação no contexto do Ensino Superior (esfera do saber ensinado), onde nos pautaremos em nosso trabalho de campo na disciplina Física Experimental VI.

Seguramente, nossa análise abrangerá apenas alguns fatores, e será uma dentre outras análises possíveis, contudo acreditamos poder avançar um pouco na compreensão do modelo de experimentação em prática nos laboratórios didáticos, iniciando pela análise das três situações que nos propomos aprofundar: a montagem experimental, o registro das atividades e a relação entre mestres e aprendizes.

| Esfera | Situação 1: Montagem Experimental |
|-----------------|--|
| Saber sábio | <p>A montagem experimental tem um papel central (afora as questões de recursos financeiros para aquisição ou locação dos equipamentos, que não pretendemos questionar); grande parte do tempo gasto na pesquisa experimental destina-se a adequar a montagem ao que se pretende medir, o equipamento deve ser planejado e montado (ou ajustado) em função da medida que será realizada.</p> <p>A necessidade de calibração do instrumento e o controle dessa condição durante toda a medida (que pode durar horas, dias ou meses), bem como a identificação e eliminação de causas de influências externas, são saberes imprescindíveis para uma tomada de dados válida. Esses e outros fatores fazem com que o planejamento da experiência e a posterior submissão dos dados à comunidade se tornem etapas fundamentais na pesquisa científica.</p> <p>O exemplo de Faraday ao procurar eliminar influências externas quando realizou os experimentos sobre o magnetismo terrestre e o isolamento dos fios com algodão mostram o domínio desses saberes, assim como o fato de construir seus próprios aparatos experimentais mostra sua grande habilidade experimental.</p> |
| Saber a ensinar | <p>Considerando as apostilas de laboratório como expressão do saber a ensinar, verificamos que a montagem experimental é apresentada sempre de forma esquemática (um desenho dos principais elementos), sem grandes considerações sobre seu funcionamento ou detalhes de construção. Em nenhum momento encontramos instruções sobre como lidar com a montagem experimental, sobre os cuidados que deveriam ser tomados ou sobre a calibração dos instrumentos.</p> |
| Saber ensinado | <p>Os equipamentos são montados no laboratório (pelos técnicos e professores) para utilização dos alunos. Normalmente os alunos se limitam a seguir os passos descritos na apostila, considerando que o aparato experimental tenha sido apresentado em condições ideais para realização da experiência, ainda que os professores façam advertências quanto a necessidade de verificar calibração, quanto a possíveis causas de influências externas ou outros cuidados necessários.</p> <p>Nossa observação mostrou que freqüentemente os alunos não realizam a calibração do instrumento por considerarem desnecessário ou por não saberem como fazê-lo.</p> |

| Esfera | Situação 2: Registro das Atividades |
|-----------------|---|
| Saber sábio | <p>A submissão dos resultados à comunidade coloca em cena a necessidade de registro das atividades, sendo prática comum o uso de cadernos de laboratório pelos pesquisadores experimentais.</p> <p>Certamente, a aquisição de dados via computador modificou parte das funções desses cadernos; porém, a necessidade do registro permanece, sendo ele feito em planilhas eletrônicas ou com papel e caneta. São esses registros que se transformarão nas tabelas e gráficos que serão a base do artigo que divulgará a experiência para a comunidade científica, colocando o conhecimento elaborado para avaliação dos pares.</p> <p>No caso de Faraday, o caderno de laboratório constitui uma importante fonte de registro do desenvolvimento de seu trabalho. O fato (citado no capítulo 2) de Faraday descrever o uso de um galvanômetro no artigo onde relatou a experiência com o anel de ferro, quando na prática utilizou um simples “arranjo de Orsted”, mostra um aspecto importante da redação de um artigo científico: a clarificação da apresentação dos resultados em detrimento da exposição do processo de construção dos mesmos.</p> |
| Saber a ensinar | <p>O uso do caderno no ensino é um hábito que acompanha a escolarização desde as séries iniciais. Também as apostilas destinadas ao laboratório prevêm a adoção de um caderno, algumas inclusive orientam seu uso para numeração e manutenção de todas as folhas.</p> |
| Saber ensinado | <p>A adoção de um caderno de laboratório depende do grau de cobrança do mesmo pelos professores. Quando o professor não exige a manutenção do caderno ou quando ele não será utilizado com instrumento de avaliação, a maioria dos alunos não o adota. Em cursos onde os cadernos são verificados, normalmente, são utilizados por todos os alunos e os registros se apresentam como prévias dos relatórios.</p> <p>Os relatórios, por sua vez, são prática freqüente, constituindo a forma de apresentação da experiência e, muitas vezes, apresentam a mesma estrutura de um artigo científico (embora não tenham o mesmo rigor). Não observamos qualquer instrução dos professores sobre o uso de cadernos no curso que acompanhamos e apenas um aluno manteve um caderno de laboratório.</p> |

| Esfera | Situação 3: Relação Professor – Aluno |
|-----------------|--|
| Saber sábio | <p>No caso da pesquisa, o relacionamento entre os pares não apresenta a mesma hierarquia da relação entre mestres e aprendizes, embora seja muito comum a presença de pesquisadores iniciantes e outros mais experientes nas instituições de pesquisa, onde o trabalho coletivo é uma constante.</p> <p>Em um pioneiro estudo sobre a vida de laboratório e a produção de fatos científicos, Latour e Woolgar (1997) enfocam, dentre outras coisas, a força do status de “chefe do laboratório” e como o diálogo e as trocas entre os envolvidos na experiência permitem a passagem de um enunciado a outro, o aprimoramento dos dados e a construção de um fato. Essas relações são marcadas por elementos que podem ser determinantes na construção da carreira de um pesquisador: protecionismo, precedência, reconhecimento, ética etc.</p> <p>A história de Faraday nos mostra exemplos dessas situações, como no caso da tutoria de Davy, da acusação de Wollaston e do prestígio adquirido após a valorização de seu trabalho por Ampère.</p> |
| Saber a ensinar | <p>As apostilas, em geral, não abordam a questão do relacionamento entre professores e alunos, a única menção aos professores se dá quando da apresentação do corpo docente.</p> |
| Saber ensinado | <p>Na prática, existe uma série de saberes que os alunos vão adquirindo em relação aos professores: quando pedir auxílio, seus limites de negociação de prazos e notas; e existe uma série de saberes que os professores adquirem em relação aos alunos: aqueles que demonstram mais interesse, quando intervir e quando se manter afastado, quando ceder em uma negociação e quando endurecer sua posição etc.</p> <p>A maioria desses saberes se constroem de forma velada, muitos nunca são verbalizados. Normalmente se estabelece um contrato no contato inicial entre alunos e professores em que se definem as “regras do jogo” e os direitos e deveres de cada parte, depois disso, muito pouco se discute essa relação.</p> <p>Kishinami (1982) apontou uma forte proximidade entre os alunos e os professores dentro do laboratório nas conclusões de sua pesquisa; nosso estudo mostrou uma característica inversa: os alunos se sentiam abandonados pelos professores. Essa questão pode ser relevante à medida que o investimento do aluno na figura do professor parece ser um elemento importante da relação, como tratamos no capítulo anterior.</p> |

Entendendo a transposição didática no sentido da evolução das idéias, no plano histórico da produção intelectual da humanidade, e considerando como Kuhn (1975) que a evolução das ciências ocorre de forma que os cientistas trabalham a maior parte do tempo dentro dos paradigmas, ou seja, dentro do conjunto de princípios compartilhados pela comunidade que os valida, veremos que *“os conceitos de transposição e o próprio saber científico estão interligados, o que fica mais evidente quando sua análise é remetida ao plano pedagógico, onde toda transposição está relacionada a um saber específico, assim como toda aprendizagem se faz sob a influência de uma transposição”* (PAIS, 2002, p. 18).

Assim, faz sentido pensarmos que a forma como a transposição didática de um determinado saber se faz, determina a forma como esse saber chegará até os alunos. E se tomarmos as três situações que analisamos sob o prisma da transposição didática como indicativos de como a atividade experimental sofreu essa transposição, veremos que, ao menos no caso analisado, de um saber altamente construtivo e valorizado na pesquisa, a experimentação se transforma em prática empirista no saber a ensinar e, dentro do laboratório, em uma prática receitual, separada dos conteúdos, onde a maioria dos alunos age mecanicamente, muitas vezes, sem compreender as tarefas que estão sendo executadas. Mesmo que no discurso da instituição pesquisada seja reconhecida a insuficiência metodológica da reprodução de experiências para confirmação de teorias, vemos que a metodologia do trabalho experimental ainda não sofreu alterações significativas.

PINHO ALVES (2000) fez um importante trabalho utilizando o conceito de transposição didática para analisar o laboratório didático, mostrando que o laboratório foi incorporado ao ensino como uma experimentação, como um exercício simplificado da atividade típica do cientista com a *“função precípua de ensinar o método experimental transformado em objeto do ensino”*, apontando que, para modificar essa posição, seria necessário rever a noosfera e perceber que *“é na esfera do saber a ensinar que se faz necessário descaracterizar o papel reprodutivista e comprovatório do laboratório”*.

O saber a ensinar deveria ser a ponte entre a ciência (saber sábio) e o aluno (saber ensinado), portanto, a transposição nesta esfera deveria refletir tanto o espírito da ciência, vivenciado pelos professores/pesquisadores, quanto os obstáculos que os alunos enfrentam na construção do conhecimento. Ou seja, as atividades a serem desenvolvidas nos laboratórios deveriam levar os alunos a desenvolverem o espírito científico, superando para tanto os obstáculos que se apresentam ao espírito (Bachelard, 1996). Como apontamos no capítulo anterior, seria imprescindível que os professores apresentassem esse espírito dentro do

laboratório e apoiassem seus alunos na superação dos obstáculos, para que a atividade experimental se transformasse em verdadeira “*experiência didática*”.

Estamos entendendo por “*experiência didática*” aquilo que nos acontece e que nos toca (Bondía, 2002). Durante nossa vida escolar muitas coisas se passam a cada dia, durante a realização de uma experiência no laboratório muitas coisas se passam, porém quase nada nos acontece.

Mas aí a experiência se converteu em experimento, isto é, em uma etapa no caminho seguro e previsível da ciência. A experiência já não é o que nos acontece e o modo como lhe atribuímos ou não um sentido, mas o modo como o mundo nos mostra sua cara legível, a série de regularidades a partir das quais podemos conhecer a verdade do que são as coisas e dominá-las. [...] Se o experimento é repetível, a experiência é irrepetível, sempre há algo como a primeira vez. Se o experimento é preditível e previsível, a experiência tem sempre uma dimensão de incerteza que não pode ser reduzida. Além disso, posto que não se pode antecipar o resultado, a experiência não é o caminho até um objetivo previsto, até uma meta que se conhece de antemão, mas é uma abertura para o desconhecido, para o que não se pode antecipar nem ‘pré-ver’ nem ‘pré-dizer’ (BONDÍA, 2002, p. 28).

Para BONDÍA (2002, p. 27) o saber da “*experiência*” é aquele que “*se adquire no modo como alguém vai respondendo ao que vai lhe acontecendo ao longo da vida e no modo como vamos dando sentido ao acontecer do que nos acontece [...] é um saber particular, subjetivo, relativo, contingente, pessoal [...] que não pode beneficiar-se de qualquer alforria, quer dizer, ninguém pode aprender da experiência de outro, a menos que essa experiência seja de algum modo revivida e tornada própria*”; essas condições nos permitem entender um outro componente fundamental da “*experiência*”: sua capacidade de formar ou de transformar o sujeito, de deixar o sujeito em estado permanente de mudança.

Essa mobilidade encontra ressonância na psicanálise do conhecimento bachelardiana que, tratando da relação do homem com seu próprio saber, aponta como a mais difícil das tarefas “*colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer à razão razões para evoluir*²” (BACHELARD, 1996). Isso significa, no nosso entender, que só é possível prosseguir, aprender e avançar, quando mobilizamos nossos conhecimentos prévios e os confrontamos visando sua superação em uma nova

² Trecho da contracapa da obra.

construção, “o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização” (BACHELARD, 1996, p. 17).

Embora Bachelard não tenha tratado especificamente da educação, suas obras contemplam a prática pedagógica à medida que discutem a transmissão dos conhecimentos científicos, além da produção dos mesmos. Segundo Bachelard, para o espírito evoluir é preciso gradativamente minimizar as primeiras representações, as intuições, alcançando pensamentos mais reflexivos, racionais e abstratos. Em outras palavras, passar pelos três estágios da “*via psicológica normal do pensamento científico, (...) passar primeiro da imagem para a forma geométrica e, depois, da forma geométrica para a forma abstrata*” (BACHELARD, 1996, p. 11).

Os três estágios seguintes demonstram o que Bachelard considerava a via psicológica normal da formação individual do espírito científico:

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

2º. O **estado concreto-abstrato**, em que o espírito acrescenta à experiência física esquemas geométricos e se apóia numa filosofia da simplicidade. O espírito ainda está numa situação paradoxal: sente-se tanto mais seguro de sua abstração, quanto mais claramente essa abstração for representada por uma intuição sensível.

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

Para caracterizar os três estágios do espírito científico, seria necessário considerar os diferentes interesses dos sujeitos, a base afetiva. Talvez seja nesta intenção que Bachelard se utiliza da Psicanálise, traçando um paralelo entre o processo de constituição do conhecimento científico e o processo de constituição do sujeito, ao qual nos referimos no capítulo anterior, quando nos utilizamos de alguns conceitos da Psicanálise lacaniana. Para Bachelard, aos estágios do espírito científico, deveríamos acrescentar a lei dos três estados de alma, caracterizados por interesses:

Alma pueril ou mundana, animada pela curiosidade ingênua, cheia de assombro diante do mínimo fenômeno instrumentado, brincando com a Física para se distrair e conseguir um pretexto para uma atitude séria, acolhendo as ocasiões do colecionador, passiva até na felicidade de pensar.

Alma professoral, ciosa de seu dogmatismo, imóvel na sua primeira abstração, fixada para sempre nos êxitos escolares da juventude, repetindo ano após ano o seu saber, impondo suas demonstrações, voltada para o interesse dedutivo, sustentáculo tão cômodo da autoridade[...].

Alma com dificuldade de abstrair e de chegar a quintessência, consciência dolorosa, entregue aos interesses indutivos sempre imperfeitos, no arriscado jogo do pensamento sem suporte experimental estável; perturbada a todo momento pelas objeções da razão, pondo sempre em dúvida o direito particular à abstração, mas absolutamente segura de que a abstração é um dever, o dever científico, a posse enfim purificada do pensamento do mundo! (BACHELARD, 1996, p. 12-13).

Podemos resumir a proposta de Bachelard sobre o caminho da progressão do espírito científico por meio do esquema: **imagem** → **geometrização** → **abstração**, progressão que dá-se na superação dos obstáculos epistemológicos, que seriam as causas de estagnação e até de regressão, que provocam a inércia do espírito científico.

Ao adotarmos a construção do conhecimento científico em termos de obstáculos, procuramos listar aqueles que a prática da atividade experimental deveria enfrentar, quais os erros deveria retificar, a fim de que a experiência tenha sua utilidade. Essa noção de obstáculos e retificação de erros parece ser desconhecida ou desprezada nos laboratórios didáticos que acompanhamos. Nesse espaço se torna urgente levar em conta as concepções prévias dos alunos, os conhecimentos empíricos já constituídos, *“não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana”* (BACHELARD, 1996, p. 23).

O primeiro obstáculo a ser superado seria a opinião, intimamente ligada à ausência mais grave que encontramos no laboratório, a ausência de problemas. *“O espírito científico proíbe que tenhamos opinião sobre questões que não compreendemos, sobre questões que não sabemos formular com clareza. Em primeiro lugar é preciso saber formular problemas”* (BACHELARD, 1996, p. 18). O laboratório didático deveria transformar-se em um lugar onde a realização de um experimento se iniciasse com a discussão de um problema; entendemos que isso é possível e viável, como nos mostram algumas das propostas alternativas que mencionamos. Na falta de um problema, dificilmente poderá haver

conhecimento científico, *“todo conhecimento é resposta a uma pergunta”* (BACHELARD, 1996, p.18).

Outro obstáculo à evolução do espírito científico seria o fascínio exercido pela primeira observação, que provoca a estagnação da racionalização. Seria necessário inserir o resultado da observação em questionamentos, extrair o abstrato do concreto. Nesse sentido, acreditamos que discutir o que é real e o que é modelo em um experimento poderia ser uma grande lição explorada nos laboratórios, no entanto, vemos que *“do fato à idéia, o caminho tem sido muito curto. A impressão é que basta considerar o fato”* (BACHELARD, 1996, p. 55). Como os alunos que entrevistamos definiram, o importante é tirar os dados, fazer os gráficos e entregar o relatório.

Dentre os obstáculos citados por Bachelard, ainda outros dois merecem nossa atenção: o obstáculo representado pelo conhecimento geral e o obstáculo representado pelo conhecimento quantitativo. Sobre a generalização, Bachelard opina que *“nada prejudicou tanto o progresso do conhecimento científico quanto a falsa doutrina do geral, que dominou de Aristóteles a Bacon”* (BACHELARD, 1996, p. 69), uma generalização apressada que muitas vezes é mal colocada e desvinculada das funções matemáticas essenciais do fenômeno. No entanto, essa busca apressada tem a facilidade de diminuir as quantidades observadas, bastam poucas medidas para que se conclua sobre a generalidade do fenômeno; não é raro que encontremos essa prática nos laboratórios didáticos.

Um saber valorizado na esfera do saber sábio é que o conhecimento que não é apresentado junto com as condições de sua determinação precisa, não é conhecimento científico. Vemos, porém, que não existe a transposição desse saber para a prática dos alunos. Esses não apresentam grande preocupação em registrar as condições reais de realização da experiência e tampouco discutem o método e a precisão de suas medidas de maneira sistemática, problema que se coloca no obstáculo do conhecimento quantitativo.

Esse obstáculo traz em sua essência um erro a ser retificado; por ser quantitativo, carrega o objeto de impressões subjetivas que precisam ser eliminadas. *“De fato, uma das exigências primordiais do conhecimento científico é que a precisão de uma medida refira-se constantemente à sensibilidade do método de mensuração e leve em conta as condições de permanência do objetivo medido. Medir exatamente um objeto fugaz ou indeterminado, medir exatamente um objeto fixo e bem determinado com um instrumento grosseiro, são dois tipos de operação inúteis que a disciplina científica rejeita liminarmente”* (BACHELARD, 1996, p. 261). Aos alunos deveria ser ensinada a postura do cientista que diante da tarefa de descrever um objeto, antes de tudo pondera sobre as condições que possui, determina a

sensibilidade e o alcance de seus instrumentos e descreve sobretudo seu método de medir, mais do que o objeto de sua mensuração. A prática que encontramos, orientada pelas apostilas produzidas na esfera do saber a ensinar, é mais condizente com a atitude do realista que, diante da posse de um objeto (diante da montagem experimental), imediatamente o descreve e mede. *“Não raciocina para ver que a precisão num resultado, quando vai além da precisão dos dados experimentais, significa exatamente a determinação do nada”*, não percebe que é preciso *“refletir para medir, em vez de medir para refletir”* (BACHELARD, 1996, p. 262).

Poderíamos estender-nos analisando outros obstáculos, porém, não iríamos esgotá-los. Acreditamos que o já exposto permite perceber que a ponte entre o saber sábio e o saber a ser ensinado não tem conseguido levar os alunos ao desenvolvimento do espírito científico. Podemos novamente nos referir à história de Faraday para exemplificar uma relação com a atividade experimental que incorpora o espírito científico, de alguém que deseja fazer Ciência, que mostra isso na sua forma de lidar com o conhecimento já estabelecido e na forma de produzir novos conhecimentos.

A psicanálise do conhecimento bachelardiana nos possibilitou concluir que se os professores não mostrarem uma relação de satisfação com a experimentação, dificilmente os alunos serão levados a fazê-lo. Além disso, sem o apoio dos professores para superação desses obstáculos, os alunos poderão avançar muito pouco na progressão do espírito científico, como a psicanálise lacaniana havia-nos apontado.

4.1 CONCLUSÕES

Nosso trabalho procurou discutir a atividade experimental no contexto do laboratório didático do Ensino Superior. Para tanto exploramos algumas contribuições da História da Ciência, mais precisamente, as contribuições de Michael Faraday à História do Eletromagnetismo: focalizamos a maneira de lidar com as montagens experimentais, a consideração dos erros experimentais, o registro das atividades e a subjetividade da relação com os mestres.

Analisando como Faraday percorreu seu caminho de aprendiz no laboratório de Davy, como ele aos poucos se tornou independente, produzindo novos conhecimentos, pudemos perceber que essa conquista não foi um processo rápido ou definitivo. A história de Faraday revelou a necessidade do tempo de amadurecimento para lidar com o conhecimento do Outro e chegar à elaboração de seu próprio conhecimento.

Estamos convencidos que, por parte do aluno a identificação do professor como o detentor do saber faz-se indispensável para que o investimento do aprendiz ocorra e ele entre numa relação pedagógica de tipo transferencial, sem a qual a aprendizagem, em geral, é difícil. As experiências vividas por Faraday reforçam essa necessidade e mostram quão forte pode ser a influência do professor sobre o aprendiz nas diversas fases do processo: a fase inicial, caracterizada pela '*alienação*' do aluno no conhecimento do professor, a fase intermediária, onde aparecem os primeiros sinais de independência e a fase final da conquista da autonomia, decorrente da separação do Outro.

Percebemos em nossa pesquisa que as três etapas são igualmente importantes e necessárias, podendo se repetir e alternar conforme as características dos sujeitos envolvidos. Alguns indícios mostram que a alienação parece ser uma etapa mais confortável para o professor, afinal, ele é colocado na posição de mestre de todo o saber, ao passo que ter de lidar com a separação, e mesmo facilitá-la, exige do professor maior autocontrole e uma maior percepção da subjetividade que permeia as relações em sala de aula; contudo, é na fase intermediária que os alunos apresentam a maior necessidade da ajuda do mestre; por ser uma fase de incertezas, de conflitos, o apoio e o reconhecimento por parte do professor são fundamentais para sustentar o aluno na caminhada até a autonomia.

A história do trabalho experimental de Faraday parece fornecer uma analogia interessante para um possível caminho a ser trilhado pelos alunos do Ensino Superior. Eles também chegam ao laboratório com muita expectativa e poucos conhecimentos. Eles precisam de um guia para ser introduzidos nesse novo campo. O relato dos alunos que entrevistamos parece sugerir que este guia está falhando. No começo a influência do professor parece restringida a um saber teórico, o manejo da estatística. O saber verdadeiramente esperado pelos alunos, o saber da elaboração das experiências, dificilmente aparece durante as primeiras disciplinas; assim a aprendizagem no laboratório didático possivelmente vai depender mais da apostila ou do grupo, do que do professor. Foi o que encontramos com nossos alunos, que se queixaram de sua relação com os professores. O ponto mais importante foi que a queixa revelava uma relação de dependência não trabalhada, um desencanto com a Referência que parecia não trazer nada de novo, daí a identificação imaginária com os autores das grandes experiências da Física. Identificação puramente passiva, que em nada auxiliava na relação com o conhecimento a ser aprendido, nem com as possibilidades de criação de novo conhecimento.

Pudemos perceber um deslizamento na eleição da Referência que, no caso de Faraday, inicialmente foi H. Davy, depois Ampère; posteriormente, ele mesmo tornou-se sua própria

Referência. No caso dos alunos, nos primeiros laboratórios a Referência é o professor, depois passa a ser a apostila nos laboratórios intermediários e, nos laboratórios finais, a Referência é o Cientista Famoso, autor da experiência e ganhador do Prêmio Nobel. Parece existir uma grande dificuldade nos laboratórios didáticos para que o professor ocupe o lugar do Outro e, conseqüentemente, os alunos reclamam o preenchimento desse espaço, ainda que não seja clara para ambos a existência do mesmo.

O interesse limitado que os docentes muitas vezes apresentam em relação às disciplinas experimentais pode ser decorrente da subvalorização acadêmica da atividade experimental em relação às aulas teóricas, bem como da diminuição do seu papel de professor, representado pela prescrição das apostilas e pela modernização dos laboratórios didáticos com a introdução de aparelhos sofisticados. Certamente isso constitui um avanço para o ensino de Física, porém um avanço muito limitado quando os docentes não ocupam o lugar do saber experimental envolvido no uso desses novos aparelhos e os próprios alunos se transformam em simples executores de tarefas.

O conceito de Transposição Didática se mostrou útil para a compreensão dos motivos da descaracterização da atividade experimental ao passar da pesquisa para o ensino, ou seja, as transformações que sofrem os saberes envolvidos na experimentação, desde sua produção científica, passando pelos manuais e chegando ao laboratório didático. Considerando que os professores de laboratório (ao menos na maioria das universidades públicas) são pesquisadores experimentais e, portanto, conhecem e trabalham dentro do paradigma da experimentação científica, acreditamos que existem condições favoráveis para que os saberes envolvidos nesse tipo de atividade possam ser transferidos para os manuais de orientação que chegam até os alunos no laboratório.

A forma questionadora de lidar com os aparatos experimentais e o hábito de registrar sistematicamente as atividades desenvolvidas, em sua riqueza de detalhes, são exemplos desses saberes que podem ser aliados importantes para a realização de uma experiência satisfatória, como no caso de Faraday. Tendo-os aprendido enquanto aluno de H. Davy, além de contribuírem para seu sucesso experimental, à medida que provocavam momentos de reflexão e questionamentos e conseqüente aperfeiçoamento nos instrumentos e nas medidas, propiciaram a satisfação do desejo de fazer Ciência, de ser inserido no conhecimento que a comunidade científica partilhava e, mais do que isso, de contribuir para o aprimoramento desse conhecimento, com a elaboração de conhecimentos novos.

Ousamos afirmar que Faraday não teria obtido tanto sucesso se seus mestres não tivessem dado o exemplo da incorporação do espírito científico, se não tivessem possibilitado

a ele a construção dos saberes necessários para a prática experimental, não o tivessem apoiado na fase de aprendizado inicial, na fase de questionamento das teorias vigentes e permitido que conquistasse sua autonomia.

Logo, parece-nos que o laboratório deva recuperar a idéia de um estilo docente, atualmente limitada, em alguns casos, ao ensino da teoria. Ou seja, o laboratório poderia tornar-se o lugar onde os professores mostram sua relação intensa e livre com o conhecimento experimental, que exercitam enquanto pesquisadores. Também os alunos devem ser levados a mobilizar seus conhecimentos no momento de execução das experiências, visando a superação das dificuldades, compreensão do aparato experimental e acréscimo em seus conhecimentos, o que alunos como Alfredo e Laís mostraram ser possível. Se isso acontecer, o caminho natural da aprendizagem, desde a transferência imaginária inicial (Villani, 1999) até uma relação entre professor e alunos orientada por uma assessoria, talvez seja percorrido por muitos aprendizes, de maneira semelhante ao processo vivenciado por Faraday no laboratório de Davy.

Atentar para essa necessidade seria importante no intuito de aumentar as possibilidades de aprendizagem num espaço educacional tão valorizado teoricamente e tão pouco explorado praticamente. Além disso, como foi possível para a pesquisadora acompanhar o desenvolvimento do trabalho de Faraday através de seu caderno de laboratório, acreditamos que também os alunos deveriam ser incentivados a utilizar esse instrumento no registro de suas práticas, com função de registro temporal dos fatos que se sucedem no laboratório e não somente a função avaliativa freqüentemente estabelecida. Neste caso o diário representou uma possibilidade de contato com o trabalho original de Faraday, mostrando que a História da Ciência pode despertar a curiosidade para estudos mais profundos sobre a construção de conhecimentos científicos, entre outras contribuições possíveis ao Ensino de Ciências.

Esse trabalho, portanto, pode contribuir para o desvelamento de alguns aspectos que, normalmente, não fazem parte das questões contempladas na formação dos professores. Acreditamos que as discussões aqui levantadas possam tornar-se objeto de reflexão por parte dos educadores e esperamos que nosso trabalho ofereça esta contribuição para o laboratório didático.

5. BIBLIOGRAFIA

- AGASSI, J. *Faraday as a natural philosopher*. Chicago: University of Chicago Press, 1971.
- ALMEIDA, S. F. C. Psicanálise e Educação: algumas observações e hipóteses sobre uma (im)possível conexão. In: Lajonquiére, L. e Kupfer, M. C. (Org.). *Anais do III Colóquio do Lepsi. Psicanálise, Infância, Educação*. São Paulo: IPUSP, 2002.
- AMPÈRE, J. M. Expériences relatives à de nouveaux phénomènes électro-dynamiques. *Annales de Chimie et de Physique*, 20: 60-74, 1822.
- ARAGO, D. F. J. L'action que les corps aimantés et ceux qui ne le sont pas exercent les uns sur les autres. *Annales de Chimie et de Physique*, 28: 325-6, 1825.
- ASTOLFI, J. P.; DEVELAY, M. *A didática das ciências*. Trad. M. S. S. Fonseca. Campinas: Papirus, 1995.
- BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- BAROLLI, E. & VILLANI, A. Contribuições da psicanálise para a interpretação do laboratório didático. In: *ATAS da XX ANPED. Disquete do GT de Didática*. Caxambú (MG), 1997.
- BONDÍA, J. L. Notas sobre a experiência e o saber de experiência. *Revista Brasileira de Educação*, 19: 20, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Brasília: MEC, 1999.
- CAVALVANTE, M. A. et al. Proposta de um laboratório didático em microescala assistido por computador para o estudo de mecânica. *Caderno de Resumos do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis (SC), 26 a 30 de outubro de 1998.
- COSTA, R. Z. V. *A participação dos estudantes num laboratório didático de Física*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: IFUSP, 1997
- DAVY, H. On the magnetic phænomena produced by electricity; in a letter from H. Davy, Bart. F.R.S. to W. H. Wollaston, M.D. P. R.S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 111: 7-19, 1821 (a).

- . Further researches on the magnetic phenomena produced by electricity; with some new experiments on the properties of electrified bodies in their relations to conducting powers and temperature. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 111: 425-439, 1821 (b).
- ERICKSON, F. What makes school ethnography 'ethnographic'? *Council of Anthropology and Education Quarterly*, 4 (2): 10-19, 1973.
- EZPELETA, J. e ROCKWELL, E. *Pesquisa participante*. 2. ed. Trad. Francisco Salatiel de Alencar Barbosa. São Paulo: Cortez, 1989.
- FARADAY, M. *Experimental researches in electricity*. London: Taylor and Francis, 1839-1855. 3 vols. Reproduzido: New York: Dover, 1965; Chicago: *Encyclopaedia Britannica*, 1952. (Great Books of the Western World 45)
- . Electro-magnetic current. *Quarterly Journal of Science* 19: 338, 1825.
- . Historical statement respecting electro-magnetic rotation. *Quarterly Journal of Science*, 15: 288-92, 1823.
- . Note on new electro-magnetical motions. *Quarterly Journal of Science*, 12: 416-21, 1822 (a).
- . Historical sketch of electro-magnetism. *Annals of Philosophy* 19: 107-17, 1822 (b).
- . Historical sketch of electro-magnetism. *Annals of Philosophy* [série 2], 2: 195-200, 274-90, 1821 (a).
- . On some new electro-magnetical motions, and on the theory of magnetism. *Quarterly Journal of Science*, 12: 74-96, 1821 (b).
- . Sur les mouvemens électro-magnétiques et la théorie du magnétisme. *Annales de Chimie et de Physique*, 18: 377-70, 1821 (c).
- . Description of an electro-magnetical apparatus for the exhibition of rotary motion. *Quarterly Journal of Science* 12: 283-5, 1821 (d).
- FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- FREITAS, D. et al. Conhecimento e saber em experiências de formação de professores. *ATAS da XXIII ANPED. CD-Rom GT 8- Formação de professores*. Caxambú (MG), 2000.

- GABRIEL, C. T. Usos e abusos do conceito de Transposição Didática. Disponível em <<http://www.ufop.br/ichs/perspectivas/anais/GT0509.htm>>. Acessado em 13/11/2003.
- GODINHO, T. C.; TERRAZZAN, E. A. Experiências no uso de atividades experimentais com roteiro aberto em aulas de Física. *Caderno de Resumos do XV SNEF*. Curitiba: CEFET – PR/UFPR, p. 83, 2003.
- GONZALES, M. E. ¿Qué hay que renovar en los trabajos prácticos? *Enseñanza de las Ciencias*, 10: 206-211, 1992.
- HERSCHEL, J. F. W. *A preliminary discourse on the study of natural philosophy*. New York: Johnson Reprint, 1966.
- HOLMES, F. L. Do we understand historically how experimental knowledge is acquired? *History of Science*, 30: 119-136, 1992.
- JAMES, F. A. J. L. (Ed.) *The correspondence of Michael Faraday*. Vol. 1: 1811–1831. Stevenage: Institution of Electrical Engineers, 1991.
- JEVONS, W. S. *The principles of science – a treatise on logic and scientific method* [1877]. London: MacMillan, 1924.
- KISHINAMI, R. I. *Análise das relações institucionais num curso básico de física*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: IFUSP, 1982.
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. *A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*. São Paulo: Relume-Dumará Editores, 1997.
- KUPFER, M. C. *Educação para o futuro. Psicanálise e educação*. São Paulo: Escuta, 2000.
- MARTIN, T. *Faraday's discovery of electro-magnetic induction*. London: Edward Arnold, 1949.
- MARTIN, T. *Faraday's diary: Being the various philosophical notes of experimental investigation made by Michael Faraday, D. C. L., F. R. S., 1820-1862*. 7 vols. London: G. Bell and Sons, 1932-1936.
- MARTINS, R. A. *Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência*. 2003 (a ser publicado).
- . Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, (10): 89-114, 1986.

- . Sobre o papel da história da ciência no ensino. *Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência*,(9): 3-5, 1990.
- MONTEIRO, E. A. *A transferência e a ação educativa*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FEUSP, 2000.
- MRECH, L. M. *Psicanálise e educação: novos operadores de leitura*. São Paulo: Pioneira, 1999.
- NARDI, R. e TEODORO, S. R. Subsídios para a construção de atividades de ensino sobre o conceito de gravidade a partir das concepções espontâneas dos estudantes e da história da ciência. *Caderno de Resumos do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis (SC), 26 a 30 de outubro de 1998.
- ØRSTED, H. C. Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. Trad. R. A. Martins. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (10): 115-122, 1986.
- PAIS, L. C. *Didática da matemática: uma análise da influência francesa*. 2. ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.
- PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. (Org.). *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.
- PINHO ALVES, J. Atividade experimental: uma alternativa na concepção construtivista. *VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Águas de Lindóia (SP), 5 a 8 de junho de 2002.
- PINHO ALVES, J. Regras da Transposição Didática aplicadas ao laboratório didático. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17 (2): 174-188, 2000.
- RIBEIRO, R. M. L. e MARTINS, I. Uma análise de narrativas relacionadas à natureza e à história da ciência. *Caderno de Resumos do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Florianópolis (SC), 26 a 30 de outubro de 1998.
- SANTOS, A. A. C. *Cadernos escolares na primeira série do ensino fundamental: funções e significados*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: USP, Instituto de Psicologia, 2002.
- SHÖN, D. A. *Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem*. Trad. Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

- SILVA, J. H. D. Algumas considerações sobre ensino e aprendizagem na disciplina laboratório de eletromagnetismo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24 (4): 471-476, 2002.
- TREVISAN, L. M. V. Ciências da natureza e suas tecnologias. In: Murrie, Zuleika de Felice (coord.). *Livro do estudante: ensino médio*. Brasília: MEC; INEP, 2002.
- TYNDALL, J. *Faraday as a discoverer*. New York: Thomas Y. Crowell, 1961.
- VILLANI, A. O professor de ciências é como um analista? *Ensaio - Pesquisa em Ensino de Ciências*, b-1(1): 5-31, 1999.
- VUOLO, J. H. et al. *Apostila de Física Experimental 2*. São Paulo: IFUSP, 1999.
- YOSHIMURA, E. M.; FANTINI, M. C. A. *Síntese da mesa-redonda sobre as disciplinas experimentais*. São Paulo: IFUSP, 2001. (mimeo)
- WILLIAMS, L. P. *Michael Faraday: a biography*. New York: Simon and Schuster, 1971.

ANEXO A – REGISTROS DE CAMPO

FNC 314 – Física Experimental VI
Laboratório de Estrutura da Matéria e Física Moderna

Experimentos realizados:

1. Movimento Browniano (MB)
2. Lei de Moseley, Difração de Raios X – II e Difração e Elétrons (RX)
3. Experiência de Franck- Hertz (FH)
4. Efeito Compton (EC)

Data: 12/03/02

Início: 14 horas

Etapa: Movimento Browniano - Aula 02

Professor responsável: Prof. 1

Grupos: G1, G2 e G3

Prévia: Na Aula 01, fez-se explanação sobre a teoria do experimento e iniciou-se a tomada de dados.

Notas tomadas de um ponto fixo, observando a classe no todo.

Professor perguntou o que eu queria observar, disse que infelizmente ele não iria dar muita aula naquele dia.

Inicialmente o aluno ALFREDO pergunta sobre a possibilidade de utilizar uma fonte (não prevista no experimento) para melhorar a escolha das gotas (pois as carregadas eram muito gordas). O professor (Prof. 1) concorda e o aluno sai em busca das fontes para o grupo.

No Grupo 01 (G1), que inicia a aula com os alunos PEDRO e LUCAS presentes, o aluno LUCAS começa a mexer nos equipamentos, separando as placas (soltando os parafusos).

O Prof. 1, inicia uma sobre Tratamento de Dados (ajuste de curvas), estando cinco alunos presentes.

O aluno ALFREDO, faz intervenção para interrogar sobre erros.

No grupo 02, o aluno JOÃO indaga ao restante do grupo se eles estão entendendo o que o professor está explicando. A aluna SÍLVIA diz que sim e, inicia uma explicação simplificada e rápida sobre o professor estar ensinando como tratar os dados.

A aluna SÍLVIA, após a explicação, diz ter trazido uma tabela (que ela tinha utilizado no experimento do Millikan) para o grupo poder lançar os dados coletados.

O professor termina sua explanação pedindo aos alunos para voltarem à tomada de dados, não esquecendo de medir o raio da gota no fim do experimento, além de medir no começo.

Notas tomadas junto aos grupos, mudando de bancada.

Grupo 01

Montagem experimental pronta.

Sobre a bancada estão várias anotações sobre a teoria relacionada ao experimento e anotações da aula do dia (explanação do professor).

15 h – Concentrados na tentativa de melhorar a visualização das gotas. Primeiro com o LUCAS e depois com o MAURÍCIO. Feito o ajuste, MAURÍCIO assume a posição no microscópio.

PEDRO comenta que na primeira aula eles fizeram 90 medidas com uma gota e, então, ela sumiu.

Acionam o capacitor, escolhem uma gota e desconfiam que algo estaria errado. Verificam a montagem e concluem que está tudo em ordem.

Iniciam medidas, com LUCAS na visualização da gota, PEDRO na anotação dos dados e MAURÍCIO no cronômetro manual.

O professor leva uma fonte para o grupo 02 e MAURÍCIO pergunta para que a fonte iria servir. O PEDRO diz que acha que é para ionizar e o MAURÍCIO pergunta o que a ionização mudaria. PEDRO responde que acha que é para carregar as gotas e, então, poderiam pegar gotas menores.

Iniciam nova tomada de dados, sempre fazendo comentários sobre os resultados encontrados. Desconfiam dos tempos medidos. Com um total de 8 medidas acham que estava bom e pedem para LUCAS fazer tomada de dados das medidas no eixo x (deslocamento lateral). Os dois alunos, PEDRO e MAURÍCIO, se mostram satisfeitos com as variações observadas.

LUCAS anuncia que perdeu a gota. PEDRO e MAURÍCIO brincam dizendo para ele regular o foco e achar a gota novamente.

Como a gota realmente tinha sumido, eles decidem reiniciar o processo de escolha de nova gota, mantendo-se todos nas mesmas funções.

Grupo 02

Discussão sobre como lançar dados no ORIGIN e sobre qual a idéia dos ajustes a serem feitos. Dois alunos defendem que o ajuste deveria ser feito na curva teórica e não na experimental. JOÃO pergunta o porquê, ao que um deles responde que é porque no experimental ninguém mexe.

SÍLVIA diz ter feito uma introdução histórica e ninguém ter dado atenção, pergunta se alguém quer ver.

PAULA fica um tempo tirando dúvidas com o professor e volta dizendo que acha que entendeu como deveriam fazer.

Os alunos se perguntam se seria preciso limpar as placas. Resolvem perguntar ao professor se alguém havia utilizado a montagem depois da primeira aula. O professor afirma que sim.

LUCAS vai buscar cabos e na volta, SÍLVIA e PAULA o ajudam a conectar os cabos na montagem, enquanto o MIGUEL vai buscar multímetro e outros equipamentos.

Assumem as funções: SÍLVIA na visualização das gotas, PAULA na anotação dos dados e MIGUEL no cronômetro. Brincam o tempo todo, muitos risos durante a tomada de dados.

Perdem a gota e dizem para SÍLVIA escolher outra gota que fosse sossegada, “na paz”.

PAULA indica como mexer no equipamento para mudar escala.

15:45 h – PAULA resolver tentar visualização. Vê uma gota e disse ter ficado feliz por ter visto uma gota pela primeira vez.

MIGUEL resolve tentar visualização. Não consegue focar nada. Volta a SÍLVIA para o visual. Começam a tomar medidas e desconfiar delas.

Grupo 03

Os alunos estão comentando que este é o pior experimento.

Preparam rapidamente a montagem.

O aluno ALFREDO se posiciona para fazer a observação visual, LUÍS vai verificar o borifador de óleo e acaba por danificá-lo. Troca de borifador e auxilia o ALFREDO na iluminação, até acertarem a visualização das gotas.

A TERESA fica ao lado preparada para fazer as anotações.

Existem algumas notas da aula sobre a bancada.

O LUÍS é chamado por ALFREDO para ver as gotas. LUÍS aprova e ALFREDO coloca uma fonte (aquela pedida ao professor) próxima do equipamento. LUÍS diz que a fonte não será necessária.

ALFREDO sugere que a fonte seja aberta somente na hora de borifar o óleo e LUÍS diz que acredita que eles tinham gotas pequenas o suficiente. LUÍS fica preocupado por ter colocado a mão no material radioativo.

Eles retomam o procedimento de iluminação para visualizar as gotas. ALFREDO sugere que apenas um deles fique no visual para não alterar parâmetros.

LUÍS vai lavar a mão. Na volta tenta colocar fita crepe para diminuir a entrada de luz entre as placas e ver se com isso melhora a visualização das gotas.

15:20 h – Somente LUÍS está na bancada, ainda não fizeram medidas, acredita ter uma boa gota e está observando seu comportamento. LUÍS resolve iniciar medidas sozinho e inicia. Os dois outros componentes do grupo chegam, TERESA fica fazendo as anotações e ALFREDO vai para outra bancada, iniciando uma tentativa de visualização em outra montagem.

15:26 h – LUÍS anuncia que perdeu a gota.

Notas tomadas após término da observação no laboratório.

Após uma hora e trinta minutos de observação, tenho as seguintes impressões:

Grupo 01 – os integrantes parecem bastante sérios. Os alunos PEDRO e LUCAS tomam mais iniciativas mas, todos palpitam e se revezam nas funções quando preciso.

Grupo 02 – a aluna PAULA parece estar “voando”, como se estivesse preocupada com outras coisas. Os alunos JOÃO e MIGUEL parecem preocupados em se divertirem, nada sérios, palpitam e interferem quando as coisas dão errado. A aluna SÍLVIA parece mais concentrada e mais interessada, se mostra mais séria na tomada de dados.

Grupo 03 – a aluna TERESA parece querer a função de anotar, tão somente, não influencia e não palpita na montagem. O aluno LUÍS parece interessado em tomar as medidas e dar andamento no experimento, parece compenetrado. Será que ele sabe o que está fazendo tanto quando seu discurso aponta? ALFREDO é um aluno que parece querer mexer nos equipamentos, mesmo que não exclusivamente, para tomar as medidas para o experimento da aula.

Data: 12/03/02

Início: 15:45 horas

Etapa: Lei de Moseley, Difração de Raios X – II e Difração e Elétrons (RX) – Aula 2

Professor responsável: Prof. 2

Grupos: G4, G5, G6 e G7

Prévia: Professor PROF. 2 me explica que no início da aula ele fez uma explanação teórica, assim como no início da aula anterior também. Cada aula sobre um experimento, já que trata-se de um pacote de experiências.

Notas tomadas de um ponto fixo, observando a classe no todo.

O aluno CARLOS possui caderno de laboratório e defende seu uso.

Aluna LAÍS fala o tempo todo, sugerindo faixas de medida e analisando os dados, mantém visualização constante da curva no micro.

Os integrantes do G6 parecem estar atrasados e não Ter segurança sobre o que irão encontrar nas medidas. Conversam muito sobre coisas exteriores ao laboratório.

O G7 parece ser o mais atrasado no andamento das experiências. Ou seria priorização do entendimento teórico?

Notas tomadas junto aos grupos, mudando de bancada.

Grupo 04

Posições de trabalho: JULIO fica na anotação (que inclui lançar os dados no micro), RICARDO fica na observação e variação dos parâmetros, CARLOS faz outra anotação e controla a corrente.

Ao se deparar com dados aparentemente “fora”, JULIO sugere descartá-los. Levando a sugestão na brincadeira, os demais dizem que mal começaram a medir e o JULIO já quer fazer ajustes na curva.

Como os dados permanecem oscilando, CARLOS questiona se eles querem alterar a corrente. RICARDO diz que a oscilação é normal mas, acabam por alterar a corrente. JULIO vem observar a mudança efetuada e ao voltar ao micro diz que algo está errado.

RICARDO verifica e percebe que foram lançados errados os dados no micro.

Continuam as medidas e vão reconhecendo os picos. Por isso deduzem que as medidas estão corretas.

Desprezam algumas medidas devido a variações bruscas de corrente.

CARLOS é o único aluno que faz anotações em caderno específico.

Grupo 05

LAÍS faz as anotações e vai analisando os dados. Demonstra não estar gostando e os dois alunos que estão na observação (mais o MARCOS do que o FÁBIO, porque esse também faz notas) chama LAÍS para conferir.

LAÍS comenta que teria ficado feliz com os dados da aula anterior, porque deu tudo certinho e “sem acoxambração”.

Chamam, depois de algum tempo, o prof. 2 para dar uma olhada nos dados, por eles considerados muito estranhos. O professor diz que, às vezes acontecia aquilo mesmo com os picos. O gráfico deles apresenta dois picos, quando esperavam Ter um único.

Resolvem redefinir a faixa de medidas para verificar se existe algo errado.

LAÍS se dispõe a trocar de lugar com MARCOS. Ele diz que faria somente se ela quisesse, que ele poderia continuar onde estava.

Um aluno do G6 vem até a bancada deles e pergunta se eles acharam o segundo pico. Com a resposta o G6 percebe que estava fazendo medidas na faixa errada - depois concluem que apenas os cálculos estavam errados – continuam pedindo informações ao G5.

Grupo 06

16 h – Surge o VINÍCIUS. A princípio (quando iniciei a observação) o ANDRÉ estava sozinho na bancada. Começam a fazer as medidas e o VINÍCIUS pergunta se são necessárias tantas medidas para cada cristal. ANDRÉ diz que pelo menos para aquele primeiro era melhor fazer certinho, depois que eles pegassem a “manha” eles veriam o que fazer.

VINÍCIUS diz que fatores pessoais interferem muito no laboratório, que era para eu anotar isso. Que ele já havia feito um laboratório pela manhã, o carro dele havia quebrado ontem e isso mexia com ele.

Os integrantes do G7 se aproximam para indagar como estavam fazendo as medidas.

Me explicam que, na verdade, vieram para formar um grupo único mas, como tinha equipamento sobrando, foram forçados a se dividirem.

VINÍCIUS faz as leituras e ANDRÉ anota. Os dois conferem os dados e discutem se estão certos. Não estão lançando os dados no micro. Vão conversar com o G5 e se dão conta que deveriam descobrir dois picos.

Grupo 07

Estão lendo a apostila e discutindo o que devem fazer e como analisar os dados, definindo a faixa em que vão trabalhar.

16:15 h – Não iniciaram a tomada de dados.

16:30 h - Após discussão com o G6, iniciam a tomada de dados.

SÉRGIO controla ajuste de parâmetros iniciais e anota as medidas. TIAGO faz a variação dos parâmetros durante a experiência.

Discutem sobre o erro da leitura que estão fazendo.

Rapidamente encontram o primeiro pico e dão seqüência ao experimento.

O ANDRÉ vem até a bancada do grupo 07 para falar da existência do segundo pico. O SÉRGIO disse que já tinha chegado a conclusão que o pico existia e que deveria ter avisado a eles do G6.

Data: 02/04/02

Etapa: Difração de elétrons – Aula 03

Grupo: G4, G5, G6 e G7

Professor: Prof. 2

Grupo 5

Laís, Marcos e Fábio presentes antes do início da aula. Começam a discutir sobre a experiência anterior e a trabalhar. Falam sobre um dado que faltou medir e decidem iniciar a experiência da aula de hoje e deixar para terminar a anterior depois.

Laís trouxe uma câmera fotográfica digital e tira fotos dos equipamentos utilizados na aula anterior para não precisar desenhar a montagem experimental.

Marcos mostra os gráficos obtidos (na sala anterior) para o professor e fica discutindo um tempo com ele.

André, do Grupo 06, se junta a discussão do Marcos com o professor afim de tirar dúvida sobre um gráfico.

Chegam todos os integrantes dos Grupos 04, 05 e 06 e o professor inicia aula sobre a 3º parte do experimento sobre Difração de Elétrons.

Professor Prof. 2 diz que não sabe se todos terminaram as etapas anteriores mas, que haveria tempo até metade da aula para quem precisasse terminar.

Transparência 1: comentários sobre DeBroglie, Davidson e outros.

Transparência 2: relação entre o movimento linear e o comprimento de onda de uma partícula

CARLOS comenta que já havia feito a experiência sobre Efeito Compton. PROF. 2 pergunta se ele havia invertido ordem de matéria, recebendo uma resposta afirmativa, diz para CARLOS que ele iria fazer o experimento novamente, que seria mais fácil já que ele já teria relatórios prontos.

Transparência 3: esquema do tubo de raios catódicos para o experimento de Difração de Elétrons.

LAÍS lê a apostila durante a exposição do PROF. 2.

ANDRÉ que antes lia a apostila, passa a prestar atenção no professor, assim como todos os outros alunos.

MARCOS fica com uma dúvida diante do que o professor está explicando e tenta esboçar uma pergunta mas, ele se atrapalha devido as correções que o professor vai fazendo enquanto ele tenta perguntar e desiste da pergunta: “Deixa pra lá, estou meio confuso”.

O Prof. 2 amplia a explanação tentando direcionar para a questão que o MARCOS tentou abordar.

PROF. 2 vai mostrando como será a experiência, dizendo que usarão cristais de grafite e alumínio, comenta que é preciso ir direcionando o feixe para a região dos cristais que não estiverem queimados, “esses cristais são velhos, já estão bem queimados” diz o PROF. 2. Alerta que os cristais são bastante irregulares e seria preciso achar regiões que possibilitassem figuras decentes.

Transparência 4: estrutura de policristal de alumínio e famílias de planos de difração com os ângulos de difração variando de acordo com a distância entre os planos.

Transparência 5: estrutura de monocristal de grafite com as duas famílias de planos de ângulos de difração.

Transparência 6: esquema de difração em folha fina de grafite.

PROF. 2 passa a dar dicas para o experimento: começar com energias mais altas e depois ir diminuindo, fazer ajuste a cada troca para procurar um bom pedaço do cristal e uma boa parte da tela do osciloscópio, “que também não estão muito bons”.

PROF. 2 encerra a explicação e anuncia que os alunos terão que eleger um representante para a turma, preencher um formulário e entregar na secretaria.

PROF. 2 diz para os alunos que quem quisesse poderia terminar o experimento da aula anterior antes de iniciar o daquela aula .

Quase todos os alunos saem da sala para buscar material, conversar com alguém, terminar impressões de gráficos ou fazer outras coisas.

PROF. 2 sugere aos alunos que apaguem a luz para fazer a experiência de difração e diz àqueles que terminariam o experimento da aula anterior, que utilizassem uma lâmpada na bancada.

Os únicos grupos na sala são Grupo 4, dizendo que já haviam terminado o experimento anterior e, Grupo 5 que disse que não havia terminado ainda mas que começaria pela experiência de difração.

Grupo 4

Começam a buscar os equipamentos e discutem sobre como proceder a experiência.

CARLOS e JULIO começam uma discussão sobre exercícios de outra disciplina.

PROF. 2 se aproxima e RICARDO pergunta sobre um dado do equipamento que eles vão utilizar. CARLOS e JULIO interrompem momentaneamente a discussão e entram na brincadeira sobre o erro da distância (medida até o anteparo) apontada no equipamento.

RICARDO começa a mexer no equipamento quando CARLOS e JULIO retomam a discussão sobre os exercícios, então CARLOS diz que seria melhor eles continuarem somente depois da aula. Começam a localizar os cristais na tela, pela figura de difração produzida.

As luzes são apagadas e tenho que mudar de lugar para fazer as anotações.

Chega o TIAGO do Grupo 7 e se junta ao Grupo 6.

Grupo 4

RICARDO fica procurando melhores figuras na tela e explica para CARLOS e JULIO onde ler a distância entre os planos da estrutura do grafite.

Grupo 6 vem perguntar para Grupo 4 como eles sabem o que é alumínio e o que é grafite. Ricardo faz demonstrações na tela.

CARLOS começa a lançar as equações no computador enquanto RICARDO fica explicando cada linha (ou círculo de pontos) para JULIO, identificando os planos e relacionando com as distâncias interplanares e os ângulos.

LAÍS vem perguntar para Grupo 4 quais círculos ela deveria considerar para as medidas.

Grupos 6 e 7 (o trio de alunos) utilizam dois osciloscópios para ver em qual conseguem uma figura melhor.

As distâncias entre os planos devem ser medidas com uma régua, direto na tela do osciloscópio.

Os Grupos 4 e 6/7 continuam à procura de boas figuras.

Grupo 5

Iniciam a tomada de medidas utilizando um compasso cuja abertura tomada na tela era depois medida na régua. No discurso eles dizem saber que estão acumulando erros, embora só considerassem o erro da régua.

MARCOS diz que o professor nunca está quando eles precisam e que no laboratório (ajudado pela LAÍS) só valem duas leis, a de Murphy e a de Le' Coxambre.

MARCOS segue fazendo análise de dados do experimento da aula anterior e LAÍS e FÁBIO tomam medidas da experiência atual de difração.

Grupo 4

Fazem medidas do grafite para 10 KeV e quando baixam para 9 KeV recomeçando a procura pelas figuras de difração, JULIO esboça impaciência com a demora de focalizar dizendo que só iriam terminar no dia seguinte. “A gente só vai acabar isso amanhã”.

Anotações feitas após a aula:

1. LAÍS E MARCOS querem continuar na área de Astronomia e dizem com pesar que esse Laboratório VI é obrigatório.
2. VINÍCIUS quer estudar Caos Quântico.

Grupo 6/7

Segundo TIAGO, o SÉRGIO faltou por causa do esquema de revezamento que os dois teriam. Todos dizem que não gostam de nenhuma matéria com prefixo laboratório e que normalmente, eles fazem o laboratório antes da teoria.

Grupo 4

Terminam as medidas para o grafite e ao construírem o gráfico verificam que algo está errado. Professor acompanha a construção do gráfico e confirma que algo está errado e fica observando enquanto eles confirmam fórmulas, medidas, etc.

Grupo 6 para de medir e vai para porta (onde está iluminado) e ficam discutindo sobre os relatórios do lado de fora, combinam data para se encontrarem.

Grupo 4 resolve fazer um cálculo teórico para ver se aproxima-se do que encontraram. Obtém resultado positivo. Concluem que o problema está na incerteza das medidas. Resolvem deixar as análises para depois e terminar as medidas para o Alumínio.

Grupo 6/7 se dispersa, fica somente o VINÍCIUS que pede a atenção de todos os alunos para fazer a avaliação do curso. Terminada a avaliação, VINÍCIUS vai entregar o documento na secretaria.

Grupos 4 e 5 continuam trabalhando no laboratório até o fim da aula.

Data: 16/04/02

Início: 14:25 horas

Etapa: Movimento Browniano – Aula 01

Grupos: G4, G5, G6 e G7

Professor: Prof. 1

CARLOS disse que é ele quem faz o trabalho braçal.

Prof. 1 chega e diz que não terá aula teórica, que os alunos poderiam começar a experiência e se até 15 horas não conseguissem ver gotas, deveriam chamá-lo.

G4 – Desmontaram a placa, fizeram limpeza e deixaram a calibração a cargo do JULIO. Enquanto isso, CARLOS e RICARDO discutiam de precisavam medir ou não os componentes do capacitor, decidiram pegar a apostila do Experimento do Millikan para ver quais parâmetros (temperatura, pressão, etc.) precisariam medir.

CARLOS trouxe uma tabela pronta para lançar 200 medidas com uma gota.

RICARDO reclama o tempo todo. Perguntei-lhes se eu iria atrapalhar ficando ali na bancada (estava posicionada no lado oposto ao deles). RICARDO me perguntou se iria adiantar alguma coisa se ele dissesse que sim.

G5 – Usaram o equipamento já montado, verificaram a calibração e iniciaram a tentativa de visualização das gotas. LAÍS disse (tomando café trazido por FÁBIO) que ela estava pensando em ir resolver uns problemas de vetores que os “bichos” tinham perguntado à ela. O FÁBIO disse que ele achava que daria para fazer as medidas em dois, o MARCOS discordou dizendo que achava que não daria. LAÍS já tendo desistido dá idéia disse ao FÁBIO que não os deixaria sozinhos.

LAÍS trouxe tabelas prontas para 150 medidas de três gotas. Disse ter sido isso o pedido pelo professor e serem eles os mais econômicos possíveis.

MARCOS, estando no microscópio, pede algo para tapar um de seus olhos. LAÍS amarra uma blusa em sua cabeça e, eles brincam dizendo: “olha o que se faz por amor à ciência”.

Iniciam a tomada de medidas, com MARCOS na visualização e LAÍS e FÁBIO fazendo as anotações dos dados.

G4 – Iniciaram remontagem do equipamento – dificuldades para achar o lugar de cada parafuso. JULIO reclama, brincando, dizendo que eles desmontam e depois não sabem montar. RICARDO diz que ele não é obrigado a decorar posição dos parafusos e que os cabos estão todos ruins.

CARLOS diz que o problema da experiência não é dos alunos e sim do equipamento.

G6 – A aula começa só com o VINÍCIUS.

14:38 h: VINÍCIUS sumiu e ANDRÉ chegou.

G7 – SÉRGIO chegou e se juntou ao ANDRÉ, tendo ligado a montagem da bancada dele antes. Estando calibrada, foi ajudar ANDRÉ na calibração do equipamento dele, voltando depois de alguns minutos para tentar visualizar as gotas.

G6 – VINÍCIUS chega e ouve de ANDRÉ que este estava calibrando a montagem. VINÍCIUS diz que a montagem já estava calibrada, que já estava tudo certo. ANDRÉ diz que não, que estava tudo embaçado.

G4 - 14:55 h Professor chega e pergunta se está tudo certo. Alunos respondem que está quase, professor olha o equipamento e propõe mudanças. Retiram os cabos para reposicionar, constatam que havia algo errado, acertam a montagem.

15:22 h Professor está tentando visualizar as gotas.

G7 - O TIAGO chegou logo depois do retorno do VINÍCIUS. Mas TIAGO e o SÉRGIO não estão conseguindo ver a escala e o fio, o SÉRGIO sugere chamar o professor, o TIAGO recusa e diz: “É melhor ir na raça”. Ele tenta o ajuste e consegue. Borrifam óleo mas, não conseguem ver gotas.

Parece haver grande aproximação dos grupos G6 e G7. O grupo G5 trabalha mais individualmente e isoladamente. Seria pela disposição das bancadas? O grupo G4 parece estar em posição intermediária quanto a esse assunto.

G4 – 15:38 h - Iniciam a medição. RICARDO no visual e no disparo do cronômetro, CARLOS e JULIO na leitura do cronômetro e anotação dos dados.

15:43 h Perdem a gota.

G5 – Terminam todas as medidas para primeira gota. LAÍS termina de copiar as medidas (disse ter sido interrompida pelo professor – falando alto, sem medo de ser ouvida) e FÁBIO vai para o microscópio tentar visualizar uma segunda gota. MARCOS fica dando dicas.

G4 – Começam tudo novamente. JULIO se prontifica a fazer leitura (visual) diante reclamações de vista do RICARDO mas, este se recusa a sair do microscópio.

G6 – Começam a medir. VINÍCIUS no microscópio e ANDRÉ no cronômetro e anotação. Depois da leitura de todos os tempos de subida e descida, quando começam a pensar nas

medidas de deslocamento lateral, a gota some. Os dois ficam muito bravos. Xingam o experimento, o Millikan e dizem que eles vão se dar mal naquele experimento.

VINÍCIUS caminha para sair da sala (diz que a vista está cansada e vai beber água). ANDRÉ tenta incentivá-lo a continuar mas, os componentes do G7 estão saindo da sala e VINÍCIUS sai com eles.

ANDRÉ fica tentando encontrar outra gota.

G5 – LAÍS termina de copiar os dados e explica para o grupo como ela preparou as tabelas para sistematizar os dados. Ela vai para o microscópio e passa suas tabelas (folhas) para o MARCOS anotar. FÁBIO fica no cantinho.

FÁBIO parece estar sempre na dele, quietinho.

MARCOS pergunta se pode ir na cantina buscar algo para eles enquanto LAÍS procura uma gota. No fim, o MARCOS fica e o FÁBIO é quem sai.

G4 – CARLOS e JULIO conversam enquanto RICARDO tenta achar uma gota boa. O papo é sobre eles serem “caxias”, sobre eles trabalharem os três juntos a aula toda e estarem se dando mal, enquanto os outros alunos chegavam depois, iam embora cedo e conseguiam fazer tudo. CARLOS pergunta: “Como é que conseguem? São superdotados?” JULIO responde: “São expertos”.

16 h - Reiniciam medidas de deslocamento, nas mesmas posições de trabalho. A gota fica muito vagarosa e eles xingam o Millikan, mas seguem.

G5 – 16:08 h - Continuam na procura das gotas, com FÁBIO e LAÍS. MARCOS foi dar uma volta.

G7 – Integrantes voltam do café e ficam discutindo sobre experimento.

G6 – VINÍCIUS volta ainda mais bravo, dizendo que é um absurdo eles dependerem daquela experiência. Professor se aproxima e pergunta o que está acontecendo. VINÍCIUS explica que a gota some quando eles vão medir o deslocamento. O professor diz que a experiência é delicada, que eles não podem ficar levantando e se movimentando toda hora perto do equipamento.

G7 – 16:15 h - O professor sai da bancada do Grupo G6 e vai até a bancada do G7. Pergunta o que eles estão fazendo, se já mediram alguma gota. Eles respondem que não, que estão acertando com vão fazer.

G6 – Iniciam medidas com ANDRÉ no microscópio e VINÍCIUS no cronômetro e anotação.

G5 – MARCOS volta e assume o microscópio para tentar achar uma gota, FÁBIO e LAÍS opinam e ajudam variando posição dos componentes.

G4 – Perdem a gota mas ficam com 70 medidas de deslocamento e 10 tempos de subida e descida. JULIO vai para o microscópio tentar achar outra gota. RICARDO lamenta terem feito somente 70 medidas e fica perguntando quanto que os outros grupos conseguiria medir.

G5 – 16:33 h - Não tem ninguém do grupo na sala. FÁBIO foi embora e MARCOS justificou: “o cara tem prova hoje”.

G7 e G4 – Saiu uma brincadeira sobre o ensino superior ser eletizante porque era preciso utilizar uma moeda para fechar a entrada de óleo no equipamento.

G6 – Resolvem mudar de bancada porque com uma abertura de porta (deslocamento do ar) a gota que estavam visualizando sumiu imediatamente. Se dirigem a uma bancada longe da porta. O professor se aproxima e senta com eles na nova montagem. VINÍCIUS fica afastado e ANDRÉ fica ao lado do professor até aparecerem várias gotas carregadas. O professor sai e o VINÍCIUS se posiciona para anotar e cronometrar, enquanto ANDRÉ faz a visualização. Iniciam medidas as 17:02 h

O professor sai da sala depois de dizer que essa experiência é muito delicada, que todos deveriam tomar mais cuidado, só sair se fosse necessário e com cuidado.

G4 – Todo mundo estressado. CARLOS diz que eles é que ficam se ferrando, tiram notas baixas por causa da limitação dos equipamentos e o professor é que acha que pode ficar nervoso. “quem tem direito de ficar nervoso é a gente”.

17:10 h Conseguem nova gota, com RICARDO no microscópio e disparando o cronômetro e CARLOS lendo o cronômetro e anotando junto com JULIO. Perdem a gota depois de sete medidas. Olham para mim e dizem que estou fazendo o diário de um fracasso.

G5 – LAÍS no microscópio e MARCOS na anotação, iniciam medidas mas logo desistem da gota.

G6 – ANDRÉ e VINÍCIUS trocam de posição, estão expressando sua satisfação com as novas medidas, atribuindo a melhora à troca de bancada. (bancada que eles dividiram com G5)

ANEXO B - ENTREVISTAS

Fita 01

Data da entrevista: 04 / junho / 2002

Grupo 05: LAÍS, MARCOS e FÁBIO

MARCOS – Toda vez que você estiver deprimido você pensa na experiência do Browniano.

LAÍS – Pois é, cara, aquela experiência foi linda (MARCOS falando mais ou menos as mesmas palavras por trás)

Eu – Foi a pior? Qual seqüência vocês fizeram?

LAÍS – Desde o começo ou só laboratório VI? (Risos)

Eu – É melhor só laboratório VI.

LAÍS – Porque foi tão traumático que eu lembro todas.

Eu – Você fez seis laboratórios? Todos os seis?

LAÍS – Todos.

FÁBIO – Não, eu não fiz os seis.

Eu – Você foi quem entrou no meio, né?

FÁBIO – É, mas eu vou fazer, no semestre que vem eu vou fazer.

Eu – E aí, qual seqüência vocês fizeram neste?

LAÍS – A gente fez Raio X II, Mov. Browniano, Detectores de Efeito Compton e Frank-Hertz.

Eu – E o pior foi Browniano?

LAÍS – E o pior foi Browniano.

Eu – Sabe o que eu queria que vocês falassem? Assim... o nome de vocês, para depois eu reconhecer as vozes, quantos anos vocês tem e o que vocês querem fazer depois da graduação.

LAÍS – Tá. (Silêncio)

Eu – Pode falar LAÍS, você é a mais falante. (Risos)

LAÍS – Meu nome é LAÍS, eu tenho 22 anos, depois da graduação eu quero fazer doutorado direto, porque meu orientador já me enche a paciência.

Eu – Você tem um orientador porque você faz...

LAÍS – Iniciação científica.

Eu – Em que?

LAÍS – Em astronomia.

Eu – E você vai fazer astronomia depois?

LAÍS – É.

Eu – E você vai fazer doutorado direto?

LAÍS – Porque ele já me enche a paciência que eu estou muito velha para acabar a graduação, ainda vou fazer graduação em cinco anos, que no IAG já é um absurdo assim.

Eu – Bobagem, bobagem. (Em tom de brincadeira)

LAÍS – É, então, aí eu vou tentar fazer direto e vamos ver o que acontece.

Eu – Tá. Depois eu pergunto o que você acha dos laboratórios (Risos). Fala FÁBIO.

FÁBIO – Bom, eu tenho 26 anos, e bom, eu não sei ainda o que vou fazer depois.

Eu – Nossa, mas se a LAÍS está velha, você é um verdadeiro ancião. (Risos)

FÁBIO – É sou um ancião.

LAÍS – É, porque no IAG é assim mesmo, se você não estiver com 22 anos terminando, você está velho demais para fazer astronomia.

Eu – (Me dirigindo ao FÁBIO) Você não decidiu ainda? Você está fazendo Iniciação?

FÁBIO – Não. Porque eu vim transferido da Geofísica, né? Eu era da Geofísica e transferi para a Física. (Corte na Fita) Eu tinha tentado Iniciação Científica lá e não tinha conseguido por causa da idade. Porque tem uma idade máxima para você...

LAÍS – Ter bolsa.

FÁBIO – É, e aí não deu.

Eu – Tá, e você não definiu o que vai fazer depois?

FÁBIO – É, eu sei que não vou fazer pós-graduação na área de física. Talvez eu faça alguma outra graduação.

Eu – Mas, porque? Você não gosta do experimental da física? Ou você quer mesmo fazer alguma coisa correlata que não seja física?

FÁBIO – (Risos) É, eu não sei.

Eu – É, porque, por exemplo, quando eu terminei a graduação eu tinha certeza, eu tinha absoluta convicção que eu não queria fazer nada experimental em física, então eu fui para a área de História da Ciência e Ensino de Física. Entendeu? Então é isso que eu estou perguntando, se é a física mesmo, assim: não, não quero, eu quero fazer alguma coisa correlata, porque você já está vindo da Geociências, ou se é assim: não, não quero fazer nada experimental em física, pode até ser que fique na física, mas não quero fazer nada experimental.

FÁBIO – Não quero fazer nada de física. (Risos)

LAÍS – Na realidade eu quero ganhar dinheiro, né? (Risos)

Eu – É uma boa.

FÁBIO – Eu quero trabalhar em alguma coisa.... (Riso da LAÍS)

LAÍS – Eu quero ter um trabalho normal, aqueles de 8 horas por dia em vez de 48 horas.

Eu – Tá, e você MARCOS?

MARCOS – Bom, eu sou MARCOS, tenho 23 anos e estou pensando seriamente em seguir carreira na física. Principalmente, na astronomia. Estou pensando em fazer o mestrado agora em astrofísica de altas energias e, se caso não der certo, por exemplo, eu não for aprovado na prova da astronomia do IAG (Risos), porque eu não fiz.....

Eu – É, porque é um detalhe a prova de astronomia do IAG (Risos)

MARCOS – Eu não fiz habilitação, assim, eu não fiz habilitação, então parece que fica mais difícil entrar.

Eu – Ah, você não fez habilitação?

MARCOS – É, então as coisas podem ser catastróficas. Daí eu volto pra física e faço mestrado na área de física de partículas, né?

Eu – Ah, tá. Mas assim, a sua idéia e fazer astronomia.

MARCOS – Na astronomia, com certeza.

Eu – Várias vezes vocês comentaram assim: Putz! É um saco ter que fazer esse laboratório, etc. e tal. Qual é o problema? É esse laboratório ou é...

LAÍS – O problema é que os laboratórios em geral são super mal estruturados, eu tenho muito pouco tempo para entender o que está acontecendo, para entender o equipamento, para tomar os dados. Nos primeiros laboratórios para conhecer estatística, você entra aqui sem saber nada de estatística. Então, assim é uma carga de informação absurda para 4 horas aula.

MARCOS – E olha que falta também um acompanhamento dos professores, porque você tem sérias dificuldades, tanto relativo aos equipamentos quanto relativo aquilo que você está estudando exatamente. E os professores que não dão exatamente um, não fazem um acompanhamento daquilo que você está aprendendo. Então chega na hora do, como por exemplo, o pessoal estava vendo a experiência lá, eles não estavam entendendo como funciona o equipamento e tudo. E o professor sentando, nem sequer teve a mínima preocupação de levantar e dizer: o que está acontecendo de errado, vamos ver e vamos discutir o conhecimento. Então você termina os laboratórios onde sua preocupação máxima é, vou tirar os dados rapidamente aqui, e não quero saber o que está acontecendo, o que é essa experiência. Eu só quero tirar os dados, fazer curva, fazer o relatório e entregar.

Então, você chega na prova com essa deficiência porque, eu tirei os dados e agora eu fui e eles perguntam: na experiência você tirou os dados, tal e se eu variar isso aqui, o que aconteceria?

FÁBIO – No relatório você acaba analisando a parte da experiência também, você não tem idéia do que você está fazendo na hora da experiência em si, mas quando você vai fazer relatório...

MARCOS – É, mas eu acho que isso é ruim. Eu acho que você só vai perceber o que está acontecendo no relatório, quando você não pode mais refazer a experiência (Falamos todos juntos e parte das falas ficam identificáveis)

Eu não estou falando que o problema é esse, mas se você pudesse, por exemplo, entender o problema enquanto está fazendo ele ali, do que depois, quando você já está no relatório e você vê, pô eu não fiz isso, eu não tirei esse dado. Porque você deveria ter tirado, você não entende mais, **você deveria entender a coisa na hora, acho que isso daria mais “possibilidade”.**

Eu – Tá, você acha então que se os professores ajudassem mais durante a experiência isso ajudaria vocês a entender o experimento, entender o que aquele equipamento está fazendo e coisas do tipo?

MARCOS – É, porque o professor parece estar em estado letárgico contemplativo, é incrível

Eu – Os dois professores? Ou vocês vêem diferenças entre um e outro?

LAÍS – Ah! Tem.

Eu – Teve uma vez que a LAÍS comentou alguma coisa comigo assim: agora que professor que vai ser... Tem diferença entre um professor e outro e, nesse sentido de se envolver mais?

MARCOS – Tem, tem professor que não se envolve deliberadamente. (Citamos um professor desconhecido que é assim)

Eu – Não se envolve em que sentido, em tentar ajudar os alunos. É isso?

MARCOS – Se envolve o menos possível, agora eu não sei se ele fala isso porque ele não sabe ou, se ele estava com medo porque a justificativa que ele dá é a seguinte, é que você que tem (Corte na Fita)

CARLOS – Geralmente são duas: você tem que conhecer todo o equipamento e, não é conhecer mais ou menos, você tem que explicar todos os problemas que podem vir a dar, aí você tem que dominar, certo?

Eu – Tá. Então deixa eu...

CARLOS – Saber tudo não dá, se o cara não fala.

Eu – Deixa eu fazer uma colocação do que eu vi, por exemplo, a experiência do Compton. Aquilo tudo é você entender aquela montagem que está lá e a eletrônica da coisa, certo?

LAÍS – Mais a parte física que teoricamente a gente já viu na teoria. (Risos e falas juntas não decifráveis)

Eu - Não, é essa questão que eu estou falando. É essa questão que eu queria levantar porque assim, por exemplo: eu estou acabando de vir de uma aula prática e eu vejo muito assim: não é comum, eu também fiz os laboratórios e não era um atitude que eu tinha, mas por exemplo, tem alunos que chegam lá e dizem assim: isso aqui está fazendo o que aqui e aquilo ali? E não é comum, normalmente a gente não tem isso de ficar perguntando, muito menos quando a

gente vê que o professor não está muito afim de ficar explicando, etc. e tal. Então é nesse sentido que eu estou perguntando se existe diferenças entre os professores, porque tem mesmo aqueles que parecem deliberadamente não falar nada... (Falamos juntos citando professores)

LAÍS – O professor X é sem comentários. Se eu pudesse passar com um carro em cima dele, eu acho que eu passava, depois de laboratório³

Seguem falando de tal professor mas, só é possível identificar as falas a partir de:

LAÍS – O cara viajou para um congresso, a gente tinha que fazer um projeto, foi a primeira turma que pegou projeto no lugar da prova, o cara simplesmente não viu a apresentação e não deu a prova, porque disse que a gente não fez a apresentação para ele.

Eu – Tá. Agora me diz uma coisa então, vocês estão comentando da questão, por exemplo, da deficiência de entender o equipamento, entender o experimento, etc. e tal. Para entender o experimento, lógico, vocês vão fazer o relatório, vocês comentaram que são obrigados a estudar alguma coisa e entender um pouquinho mais.

CARLOS – E aí está tudo errado, então você faz dar certo (Risos e falas conjuntas). Você faz dar certo. Vai dizer que você nunca roubou?

Eu – A lei de Murphy e a lei de Le’Coxambre.

Eu – Todo mundo dá uma acomodada nos dados?

LAÍS – É assim, você o relatório para valer. Você coloca direitinho os dados que você obteve, você faz a análise direito, põe todas as explicações que você conseguiu achar para aqueles problemas e aí, o cara te devolve o relatório com 6,0. Você acoxambra e o cara te devolve o relatório com 8,5. Você pensa na sua bolsa, entendeu, você pensa na sua nota para se formar, você pensa em todos os ganhos e todas as perdas e, você acoxambra mesmo.

Eu – Tá. Então o que eu pergunto é assim: o que vocês acham, agora a intenção é que todo mundo fale, cada um responda de uma vez senão eu não consigo identificar quem é quem depois. (Quando vocês forem falar, falem seus nomes antes, porque eles já falaram, fala o nome e eu gostaria de saber o que vocês pretendem fazer depois da graduação) O que vocês acham que fazer esses seis laboratórios acrescenta, então, na nossa formação? Porque assim, pode ser: me ensinou a perder tempo, me ensinou a ter maior habilidade experimental que eu vou precisar, dependendo do que eu quero fazer depois, ou então, me ensinou a fazer relatório, uma coisa que eu não sabia fazer. Porque, eu acredito assim, mesmo que possa ser melhorado (a gente conversa mais sobre isso depois), algumas coisas a gente aprende, alguns aprendem mais umas coisas, outros aprendem outras. O que vocês acham que mais ficou?

MARCOS – No meu caso, eu acho que uma das coisas mais interessantes, principalmente, laboratório 5 e laboratório 6, é você pegar uma experiência que foi feita no início do século XIX,

ou melhor, no final do séc. XIX, início do século XX, você refazer aquilo e ver quais os problemas iniciais que os caras tiveram naquela época, fazendo aquela experiência. E ao mesmo tempo você entender um pouco da teoria e como foi feita a análise dos dados, quais os tipos de procedimentos que eles usaram, assim. Mas nos primeiros laboratórios eu acho que foi uma coisa assim muito ..., acho que não foi mesmo.....

Eu – Não parece Física, é isso?

MARCOS - É, acho que você teve que, a gente trabalhou muito com análise estatística dos dados e tudo e passou muito por cima a análise fenomenológica, assim da coisa. A gente deixou isso meio de lado, porque a gente trabalhou tanto em análise estatística, só em análise de dados e não se viu o que estava acontecendo realmente por trás da experiência. Então eu sinto uma deficiência muito grande. Agora eu entendo o que eu estou fazendo, pelo menos. Embora eu faça algumas coisas erradas, mas eu sei o que a gente quer e o que a gente está fazendo e nos outros, eu não conseguia nem sequer entender isso. A gente tirava os dados e no final apresentava um gráfico, deu uma reta e tudo bem.

Eu – Tá.

FÁBIO – Acho que os laboratórios ajudam a gente a ver mais profundamente uma matéria.(cortes na fita)

Eu – E trabalhar em grupo?

FÁBIO – É, tem isso (risos)

LAÍS – Como não trabalhar em grupo, né? Como fazer os relatórios?

Eu – (depois de outros risos e brincadeiras) Como vocês dividem os trabalhos?

CARLOS – Essa é a parte mais difícil, como dividir o trabalho?

Eu – Vocês nunca fazem juntos, nunca conseguiram sentar os três para fazerem juntos?

LAÍS – Não dá, cada um tem um horário.

CARLOS – Agora, é o CARLOS quem está falando. (risos) Porque trabalho em grupo, presume liderança. Todos estão no mesmo nível, teoricamente falando. Então, fica complicado ele falar assim: você faz isso, ou você faz aquilo, porque eu teria que fazer? Então tem que haver muita habilidade para os três sempre concordarem com tudo. Isso é um ponto. Mas, mesmo assim, se ele faz uma parte e eu faço outra parte, alguém vai ter que ligar tudo, para deixar tudo com uma cara só. Porque ele adotou uma simbologia, ele uma nomenclatura, eu outra notação, vai ficar uma colcha de retalhos. Tem que ficar com uma cara só, então, um vai ter que fazer isso. Então, agente procura dividir, geralmente assim, um vai ficar por último para entregar, agente procura revezar isso para nunca ficar a mesma pessoa, senão aquele desenvolve aquela habilidade e os outros não, acho que isso é uma coisa boa.

Eu – E você acha que esse grupo que você tem, que é CARLOS, JULIO e RICARDO, vocês conseguiram trabalhar? Como que vocês, como se formou esse grupo? Vocês que escolheram ou é o professor que escolhe, vocês já tinham contato antes de outra matéria?

CARLOS – Eu não conhecia ele (RICARDO), mas conhecia ele de outra disciplina (JULIO). Mas, o JULIO conhecia o RICARDO, acho, então, ele (JULIO) foi a ponte. A gente conversou um pouco antes e a gente contou, eu tive uma experiência ruim de um grupo com gente que não tinha compromisso em terminar ao curso, que se desse ou não, tudo bem. E para mim é importante terminar. Então, para sentir qual é a do cara, porque de repente ele está fazendo o curso mas, para ele é só mais uma atividade.

Eu – E mesmo o RICARDO sendo o reclamão do grupo... (risos)

CARLOS – Mas, as vezes é bom, porque se não tem um cara assim eu tenho que pensar em tudo, entendeu? Então eu fico mais relaxado, porque eu faço 26 créditos, se eu tiver que pensar em tudo vai ser ruim, eu já penso na outra parte. Então é bom você ter um grupo onde você pode confiar nas pessoas, porque não dá para você fazer tudo.

Eu – E, CARLOS, quantos anos você tem e o que você está querendo fazer....?

CARLOS – Eu tenho 31. Pretendo fazer mestrado em computação, em ciência da computação. Eu já faço iniciação (corte na fita)

Identificados – ... nas habilidades do laboratório, porque você aprende a se virar,....

CARLOS - ... nas habilidade do laboratório, porque isso tem uma medida, acho que eles erram nesta medida, porque até certo ponto o professor tem que fazer, a partir de um determinado ponto o aluno tem que fazer. Só que para alguns professores o aluno tem que fazer tudo sozinho, então, eu aprendi muita coisa em laboratório que, sabe, de tanto fuçar até descobrir como faz isso funcionar, só que isso vai levar mais tempo. Em um curso onde você tem prazo, você deixa de aprender muito, porque eles não te deram os subsídios necessários para você se aprofundar. Isso não é só nos laboratórios, em todos os cursos.

Eu – E qual sugestão que vocês acham mais viável: que vocês tenham mais tempo para as experiências ou que os professores se envolvam mais adiantando mais coisas?

CARLOS – Eu acredito que eles tenham que se envolver mais, senão a gente vai ter menos conteúdo, o que não é interessante. Se eles se envolverem mais, ...eu não sei se está errado, sei que não é o certo, porque vão dar tudo mastigado para gente. Mas, se você quer se aprofundar, tem que ter uma certa parte mastigada, porque não dá para você fazer tudo. Em três semanas, não dá para você sair daqui, ler toda a teoria que existe a respeito daquilo, livros e artigos (falas juntas) para você ter a base. Depois que você fizer isso, você vai estudar para se aprofundar, não dá. Essa parte básica eles tinham que prover, para você correr atrás....

FÁBIO – Acho que está faltando isso, te dar um caminho mais fácil para você chegar no lugar. Você pode aprender as mesmas coisas sozinho, só que você vai demorar muito mais (falas concordantes), você pode ir por um caminho mais rápido.

CARLOS – Entendeu? Quando você aprende uma coisa sozinho, você fica cheio de lacunas, você acha que sabe isso, que sabe aquilo e quando você vai fazer uma disciplina lá na frente, o cara faz menção a uma coisa que você deveria ter aprendido, mas você não sabe, porque passou de qualquer jeito por cima.

LAÍS – Porque senão é o seguinte, fecha aqui, faz um exame nacional de curso como o Provão, que te dê, sei lá, o diploma de Bacharel em Física, cada um se vira para estudar, a gente vai lá no dia que achar que está pronto, faz o exame e fim, né?

Eu – E, JULIO, que é o mais tranqüilo, o mais calmo (começam a falar juntos)

JULIO – (fala truncada) Eu não gosto de laboratório...

RICARDO – Quanto tempo em média, você leva para fazer um relatório, a sua parte, somando pedacinho por pedacinho, em horas?

FÁBIO – Sei lá, umas 10 horas.

RICARDO – E, você? (perguntando para MARCOS)

MARCOS – Acho que é por aí também.

RICARDO – Três caras, dez horas cada parte...

LAÍS – Não, não, dez horas cada parte, mais uma média de 6 horas para arrematar.

MARCOS - Um relatório é quase trinta horas, sem brincadeira, a gente gasta isso. Eu já gastei mais, quando eu fazia com um grupo, é isso aí... Eu dei sorte de ter o pessoal que faz, porque eu já tive grupo onde tive que fazer o cálculo inteiro. Fazia tudo e se somasse mais um dia inteiro, se pegasse seguido, só que chega uma hora que, sinceramente, se você tem um pouquinho de..., se você é um pouquinho humano, você não agüenta mais, você larga e entrega do jeito que está.

Eu – RICARDO, quantos anos você tem?

RICARDO- 24

Eu – E você quer fazer o quê depois?

RICARDO – Eu faço iniciação científica na área de astronomia e não tenho a menor idéia do que quero fazer depois. Não sei, estou mais perdido que....

Eu – Tá. JULIO, você tem quantos anos e quer fazer o quê depois?

JULIO – Tenho 29. Só que não sei o que fazer depois.

Eu – Você fez iniciação?

JULIO – Não.

Eu – Não. Quer fazer você está fazendo graduação, não fez opção por nenhuma especialização?

JULIO – Fiz, por pesquisa básica.

Eu – Tá. Você falou o que quer fazer depois CARLOS? Ah, computação. E porque você fez física?

CARLOS – Ah. Porque eu já trabalho na área, né? Eu trabalho no Péletron. Eu entrei lá como técnico e aí comecei a ver como é que era o movimento, descobri que eu gosto de física, antes de, sem saber que era física, entendeu? Eu achei que a minha habilidade era para engenharia. Aí eu fui fazer física primeiro, porque eu estava na área e segundo, porque era o único curso na área de exatas, no noturno. E acabei gostando. Eu fui fazer iniciação científica em computação, porque eu estava pensando no mercado de trabalho depois. Porque se você fizer bacharelado em física e quiser levar isso a sério, você vai fazer mestrado, doutorado, pós-doutorado, prestar um concurso e ficar se matando para tentar dar aula aqui ou numa faculdade particular.

RICARDO - Numa faculdade, porque é difícil entrar aqui. Não vai conseguir entrar, né?

Eu – JULIO, você estava falando que não gosta de laboratório?

JULIO – É, eu concordo com o que ele falou (MARCOS), eu acho que ficou tão redundante, no começo até que eu achei bom, porque você aprende a tratar estatisticamente os dados, mas isso só no primeiro laboratório, no segundo e depois você repete. Eu acho também que para você fazer um bom curso você tem que ter conhecimento de eletrônica. Só que a não ser que você seja um técnico (risos), é pré-requisito para você entrar na física, que você seja um técnico em eletrônica.... Isso atrapalha todo o curso.

(falas misturadas)

RICARDO – Quem nunca queimou um resistor aqui?

LAÍS – Eu não.

RICARDO – Mas seu grupo sim.

JULIO – (continuando a fala) Naquela experiência do Compton...

CARLOS - ...porque para eles (professores) são anos trabalhando com isso, são físicos, mas são anos lidando com esse negócio de aparato experimental tudo acaba ficando trivial, lógico, tudo para eles é lógico, é trivial porque eles mexem com isso todos os dias. Mas para quem não tem essa lógica, essa maneira de pensar, da eletrônica, montagem, positivo, negativo, aquisição, essas coisas, não entende nada. Então uma coisa que falta é esse curso de eletrônica, uma introdução e, outra coisa que falta é um curso de estatística, pelo menos uma introdução no começo do curso.

LAÍS – É.

Falas juntas sobre a questão do momento certo de ter esse curso.

JULIO – ... é meio redundante porque não tem nenhuma conexão do departamento com outros departamentos. Eu nunca estudei capacitor, nunca estudei resistor, nunca estudei circuitos.

Eu – Tá, deixa eu...

LAÍS – E o laboratório 6 é meio que uma revisão de laboratório5

JULIO – Aí tudo bem, porque Física 5 e 6 tem relação com física 4. Não, com física 5.

LAÍS – Cinco

JULIO – Tem relação, mais os laboratórios anteriores é perda de tempo total.

LAÍS – É um desastre.

Eu – Bom, tem mais um monte de coisas que eu gostaria de conversar, eu ficaria aqui mais meia hora, mas eu sei que todo mundo quer ir embora, mas eu gostaria de perguntar só mais uma coisa e depois eu procuro vocês pelo e-mail. Só o CARLOS aqui, que tem caderno de laboratório?

LAÍS – Sim.

CARLOS – Eu sou um daqueles alunos esquisitos que tem aqui na USP, que anotam tudo o que o professor fala.

Eu – E você anota, no seu caderno, o que o professor fala?

CARLOS – Geralmente eu anoto para não ter dúvida. Porque se eu tiver alguma dúvida depois eu volto ali, se eu não tiver aquilo eu não tenho para onde recorrer. Eles já falam o mínimo, se eu não souber nem o mínimo que ele falou.

Eu – E porque que vocês outros não tem?

LAÍS – Porque não tem caderno, eu anoto em folha solta, porque aí fica aquele bloquinho da experiência, entendeu? E já fica tudo junto.

Eu – Vocês também anotam?

JULIO – Eu não anoto, porque o que eles falam, normalmente tem nos livros (Dúvidas nesta fala)

RICARDO – Mentira, porque tem os outros que anotam. (risos)

Falas não identificáveis.

RICARDO – Ou porque é muquirana mesmo.

MARCOS – Eu não anoto mais, porque todas as vezes que eu tentei anotar, eu sempre perdi o fio da meada e o professor sempre atropelou os fatos e eu não conseguia depois manter uma ordem clara das coisas.

Eu – Bom isso é uma parte da anotação, que é anotar o que o professor fala. A outra parte é anotar, por exemplo, o que não deu certo na experiência porque assim na próxima aula eu pego e mudo isso daqui etc. E isso, anota, não anota?

LAÍS – Anota.

JULIO – Para isso você precisa saber o que está fazendo porque dependendo dos dados eu não vou nem saber o que está errado ou o que está certo.

Eu – Legal, porque a maioria das pessoas falam isso: eu não anoto porque nem saberia o que anotar, o que seria mais importante ou não importante, não estava nem entendendo...

LAÍS – Na dúvida eu anoto tudo.

CARLOS – Nesse curso aqui, pra gente a coisa está mais clara do que laboratório4, mais claro. Porque em laboratório4 a gente se perde, às vezes, no que tem de fazer. Geralmente, você lê a apostila em cima da hora, não tem tempo de ler. (JULIO fala junto) então, você tem o que o professor passar, você tem que acreditar naquilo. Se ele deixar de passar alguma coisa que tem na apostila, seu relatório vai para o saco e eles avaliam relatório pelo que é pedido na apostila.

Eu – Tá, eu tenho algumas outras questões para conversar com vocês sobre avaliação do curso, etc. e tal. Tem um pessoal aí que foi muito mal na prova.

LAÍS – Eu não entendo como um curso prático....

Eu – Tem gente que foi super bem na primeira metade da prova e foi muito mal na segunda...

LAÍS – Claro, porque a matéria que você viu primeiro...

Eu - Tem quem não foi bem em nenhuma das duas partes mas, somando a nota das duas, deu....

JULIO - Aquela prova foi uma viagem.

LAÍS – Tem duas coisas. Experiência que você faz primeiro, naturalmente, você entendeu melhor, porque a gente fez a prova antes do relatório de Browniano. Então você faz no escuro.

CARLOS – É verdade.

RICARDO – Mas eu fui melhor nessa...

MARCOS – A gente naquela prova, não tinha nem começado a fazer o relatório de Browniano e o de Raios X não voltou. Como é que você vai saber o que você errou?

Eu – Mas vocês foram pior na prova de Raios X...

LAÍS – Mas a prova de Raios X estava mais “crau” também.

CARLOS – Mas não tinha nada a ver com o que foi falado, nada a ver com a parte teórica, nada a ver com a parte de tomada de dados, era especulação de incerteza, uma coisa que não foi discutida. Eu nunca tinha ouvido ninguém falar nada a respeito daquilo.

RICARDO – Metade da prova.

LAÍS – É, porque tem coisa que a gente sabe...

CARLOS – Duas variáveis completamente independentes a primeira vista, que não tinham nada que relacionasse uma com a outra, queria saber como a incerteza de uma variava a outra.

LAÍS – Sem consulta, né?

CARLOS – Sem consulta? Nunca ninguém tocou nesse assunto.

RICARDO – Consultar o quê? Não tinha o que consultar.

LAÍS – A apostila. A apostila tinha a relação.

MARCOS – Acho que os professores tinham que saber, eles tinham que ter consciência desse tipo de coisa, porque esse programa de laboratório é uma encenação desde o laboratório1. Todas as vezes eles tinham uma experiência e sempre carregando os mesmos problemas de mau acompanhamento do curso e vai levando os problemas e chega na prova eles realmente colocavam discussões, problemas que jamais foram levantados em sala de aula.

Eu – Sempre foi incoerente, então, a prova...?

MARCOS – Sempre foi. A maioria das vezes tinha prova de laboratório 3 que a média da sala era 3,0. Todos os anos a média da sala era 3,0.

CARLOS – E o aluno é que é ruim.

MARCOS – Exatamente, o aluno que é ruim. A gente fez uma prova de laboratório5 do prof. X, onde quase a unanimidade das pessoas zeraram a prova, ou entregaram em branco. E aí, eles não conseguem realmente tirar uma avaliação, normalmente é assim, todos é que são burros e eles não conseguem levar o resto do curso. Conseguiu-se fazer as três provas e a dele ficou em branco. E ele não consegue tirar nada de...nenhuma conclusão a respeito disso.

LAÍS – A prova de laboratório5 do Prof.1 tinha um histograma ilegível. Ele dizia que tinha cento e tantas gostas e tinha duzentas e poucas, entendeu? Você não pode nem confiar na informação que o cara te dá na prova.

Eu – Então para fazer esse tipo de prova que vocês acreditam que é incoerente com o tipo de coisa que se discute durante as experiências no laboratório, vocês teriam que estudar coisas fora dali?

LAÍS – Sim.

MARCOS – Exatamente.

LAÍS – Eu, já acho que é meio incoerente uma disciplina prática ter uma prova teórica.

CARLOS – ... pedir na prova os cuidados que você precisa tomar, o que é importante, o que é mais significativo ou assuntos de teoria.

MARCOS – Prova experimental.

LAÍS – Ou dar uma prova prática mas, uma prova prática razoável, porque prova prática de laboratório 3 e 4, você tinha que reescrever um mini artigo em quatro horas.

MARCOS – Porque você tem que avaliar o que foi pedido, o que foi discutido em sala de aula. Como é que você avalia coisas que você imagina, experiências que estão longe ou nem sequer foram pensadas?

RICARDO – Nunca ninguém tocou no assunto...?

Falas confusas.

MARCOS – Mas a prova de Raio X foi totalmente a parte da experiência.

CARLOS – Eu até perguntei para ele antes da prova: Professor como é que vai ser a prova?

Risos

CARLOS – É, ele falou assim: Para vocês talvez seja difícil, eu não sei, para mim é fácil.

Eu – Uma outra questão assim, por exemplo, acho que essa seja mais específica até para a LAÍS. Você sempre demonstrou essa questão dessa aversão pelo laboratório, etc. e tal.

LAÍS – Eu saí de um curso técnico.

Eu – (continuando a pergunta) Mas ao mesmo tempo você se dedica muito ao laboratório.

LAÍS – Então, eu saí de um curso técnico. Eu sou experimental na veia. Minha iniciação é “hiperlinear”, comandar banco de dados, entendeu? Só que os caras fazem a coisa de um jeito que você perde o pique, você olha pra aquilo e se pergunta, o que isto tem a ver com o que eu vou fazer? O que isto vai acrescentar na minha vida? Eu já sabia fazer relatório, pela norma ABNT, já vi a eletrônica do negócio, a parte de como funciona fisicamente a gente vê na teoria então, as quatro horas que eu fico aqui, para mim, são perda de tempo, o que vai contar depois é a análise de dados que você faz em casa. Então eu tenho pavor de laboratório mesmo, porque não tem nada a ver com a teoria, não tem nada a ver com o que você vai usar.

Eu – Para as pessoas que, por exemplo, nunca mexeram com laboratório, não fazem nenhuma atividade experimental, talvez tivessem algum interesse que para você não tem porque....(LAÍS confirma) nesse sentido?

LAÍS – Talvez se você aprendesse a mexer nas coisas. E eu acho que não dá, eu acho assim: o equipamento que eu não conheço, eu entro no laboratório sem conhecer e saio do laboratório sem conhecer.

Eu – Me fala uma coisa sobre os equipamentos vocês, aliás vários de vocês, principalmente o RICARDO já comentou muito assim: esses equipamentos são muito ruins, hoje mesmo teve isso.

LAÍS – Está sempre ruim, né?

RICARDO - Quem fez laboratório 5 nem tanto, mas quem fez laboratório 3 e laboratório 4 com certeza pegou um....

CARLOS – Resistor queimado.

RICARDO e LAÍS – Um cabo com defeito.

CARLOS – Só vai descobrir na hora que ... ao meio-dia, porque não consegue tomar os dados e aí o professor vem: é o cabo, troca o cabo. Depois que você já perdeu três horas para descobrir que é isso, porque o professor deixa você lá, porque é você quem tem de descobrir o que está dando errado.

Falas encobertas.

RICARDO – Aí, você aprende. Depois de uma vez ou duas, você aprende que tem que verificar os cabos mas aí, você já errou duas vezes, uma, duas... até você aprender a pensar nisso. Só que custa o professor falar: olha, verifica o cabo?

CARLOS - Eu não sei se é minha opinião mas, quando eu fiz laboratório³, tinha uma caixa de potenciômetros que ... na estrutura de madeira deles, eu peguei e não estava funcionando, quando eu olhei embaixo tinha um quezinho (uma letra Q pequena), que o próprio aluno coloca.

Eu, LAÍS e outros – Quebrado, Queimado.

CARLOS– O cara faz de propósito, queima e deixa lá para você se ferrar. Depois que passa meia hora, uma hora é que você percebe. É de tudo um pouco aqui.

LAÍS – É cruel.

Eu – Tá bom. Eu agradeço e acho melhor parar porque vocês estão ficando exaltados.

CARLOS – Acho que essas coisas deviam ser diferentes desde o laboratório¹. Acho que os professores deveriam ouvir isso.

LAÍS – Eu também acho.

Um aluno fala sobre a importância dos professores ouvirem essas críticas para poderem melhorar, alguém lembra que aconteceu algo assim com um professor e ele ficou uma fera e reprovou metade da turma.

Eu – Uma sugestão para laboratórios

LAÍS – Bom, a minha sugestão começando do currículo, os professor acham que iam conseguir fazer o índice de desistência chegar a 99%, mas eu acho que tem que fazer o primeiro ano de cálculo, estatística, para quando você fosse ver física, visse física de gente grande, não ficar essa enrolação, vamos brincar de fazer física no laboratório¹, entendeu? Vamos brincar de estudar física em Física 0. Tinha que ser para valer, pô.

Eu – Tá. O envolvimento dos professores...

CARLOS – Isso é para todas as disciplinas.

LAÍS – Não vai mudar, eu acho.

CARLOS - Para todas as disciplinas. Eu aprendi muito mais com professores que davam mais subsídios. Pediram para a pessoa aqui que ela não precisa consultar livros, que somente suas notas era suficiente, o cara era organizado, tem o pensamento estruturado, sabe o que vai falar. Tem professor aí que não prepara aula.

MARCOS – Que nem o professor Y?

(Seguem vários comentários sobre esse professor – elogiosos)

CARLOS – Exatamente. Todo mundo devia aprender a dar aula que nem o professor Y. O melhor professor que eu tive. O cara domina a matéria, é claro, sabe se expor e aprendido. Então com um professor desse você aprende, toma gosto, você quer se quer aprofundar. Agora um professor que não prepara aula, se expressa mal, é desorganizado, você aprende o quê?

MARCOS – Tipo professor W?

Eu – E os dois professores desses laboratórios, vocês consideram que o prof. 2 prepara aula?

LAÍS – Prepara.

Eu – E o prof. 1 prepara aula?

LAÍS, MARCOS – Pouco, menos que o prof. 2.

CARLOS – Ele prepara mas, de maneira diferente, ele tem esquemas diferentes.

RICARDO – Esse pessoal de laboratório 5 e laboratório 6 é diferente, a aula é diferente.

Eu – Diferente como?

RICARDO - Diferente neste sentido. O prof. W não entrava com nota de aula, ele sabia o que tinha que falar, não tinha erro, ele não errava no que tinha que falar, ele já sabia o que tinha que falar. Talvez na primeira vez que ele deu a matéria ele tenha levado uma nota, já era a décima vez que ele dava a matéria, ele não precisa mais daquilo, é uma experiência que ele já adquiriu.

MARCOS – Eles são organizados, entendeu?

LAÍS – É. Agora esse prof. W passou para laboratório3, ele leva notas de aula, ele pode até não usar...

RICARDO – É, tem professor que leva nota de aula mas, prepara a aula.

MARCOS – O prof. Y leva nota mas, ele sabe.

Eu – E dá uma "baita" aula.

MARCOS – Ele substitui o livro.

CARLOS – Não presume que você sabe nada a priori. O cara dando aula de quântica, ele revisou produto vetorial. Quem não sabe, aprende. Quem sabe, recorda e segue todo mundo junto rumo ao objetivo.

FÁBIO – Tem professor que tem dom para dar aula, tem professor que não tem.

LAÍS – Mas eu acho que mesmo aqueles que não tem dom...

MARCOS - Tem professor que acha que só tem a matéria dele (cita um professor).

Muitas falas ao mesmo tempo.

RICARDO - Com exercícios gigantescos.

Falas não identificáveis.

LAÍS – Aí ele solta aquela nota no BIFUSP falando que os alunos são relapsos.

CARLOS - Tudo o que ele não fala, está na lista de exercícios. Para resolver a lista você tem que ler meio livro e vários. Um livro russo de 1870.

LAÍS – É, um livro em francês ainda.

Turma B

Eu – A primeira coisa que eu queria saber é assim. O João não está aqui, né? Ele é o quarto elemento do grupo de vocês. Foi vocês que se escolheram enquanto grupo, ou foi o professor que escolheu?

Miguel – Foi a gente. Eu sou o Miguel, 20 anos, vou fazer doutorado em física nuclear.

Eu – Você vai fazer doutoramento direto ou vai fazer o mestrado?

Miguel – Estou pensando no doutoramento direto.

Eu – Você faz iniciação, em que?

Miguel – Faço, na área física nuclear.

Eu – Quem é seu orientador?

Miguel – É o Dirceu ...

Eu – Não conheço. E você, quem é?

Sílvia – Eu sou a Sílvia, tenho 22 anos, faço iniciação científica em astronomia, pretendo seguir o mestrado em astronomia ou fazer em divulgação científica. Mas, eu ainda não decidi.

Paula – Eu sou Paula, tenho 20, também sou da astronomia, pretendo faz pós, acho que mestrado lá no IAG também.

Eu – Nossa, como tem gente da astronomia no grupo de vocês, no outro grupo também.

Sílvia - É que esse laboratório é obrigatório só para o pessoal da astronomia

Miguel – E pesquisa básica.

Eu – Ah, esse laboratório é obrigatório somente para quem fez opção por astronomia?

Sílvia – E pesquisa básica.

Miguel – E tem muita gente que desiste da pesquisa básica justamente por causa desse laboratório

Eu – Mas porque, esse laboratório é ruim?

Miguel – Não é porque já encheu o saco.

Sílvia – Os laboratórios são cansativos.

Eu – Todos?

Paula – Laboratório 5 e laboratório 6 foram os menos chatos. Acho que laboratório 1 e laboratório 2 foram os essenciais, a gente aprendeu tudo o que precisava. Laboratório 5 e laboratório 6 foram os mais legais que a gente fez e laboratório 3 e laboratório 4 foram os piores, os chatíssimos, era praticamente um relatório por semana, muito trabalhoso.

Miguel – Referindo-se aos laboratórios 5 e 6 – Foram as experiências mais interessantes. Referindo-se aos laboratórios 3 e 4 – foram praticamente tempo perdido.

Eu – Me diz uma coisa, quando você fala que laboratório 1 e 2 foram os essenciais, em laboratório 1 e 2 vocês trabalham praticamente análise estatística e coisas do tipo, isso é o essencial?

Sílvia – É porque acho que foram os laboratórios onde a gente aprendeu a propagar incerteza, como mexer com os instrumentos. Acho que é isso fazer o tratamento estatístico dos dados que é o que a gente precisava, o resto a gente aplicava algo a esses métodos mas em outras experiências.

Eu – E laboratório 3 e laboratório 4?

Sílvia – Foram os piores.

Eu – Porque foram repetitivos? Porque foi ruim?

Sílvia – Um porque é repetitivo e, pelo menos para mim foi o conteúdo. Porque é eletro e um das piores matérias que eu já peguei foi eletro, então laboratório de eletro ficava pior ainda.

Miguel – Mas eu acho que não é só isso. Acho que as experiências de laboratório 3 e 4 são muito mal formuladas, com objetivos pouco claros, que não te levam a nada, que parece que é mais formalismo, só formalidade.

Eu – E laboratório 5 e 6 são mais interessantes porque, por causa das experiências?

Paula – Todas as experiências ganharam Nobel, né?

Sílvia – Acho que todo mundo deveria conhecer.

Miguel – São as experiências cruciais da história da física, até aí você já tem um motivo. Se você vai se formar, pelo menos já tem um contato com o que foi feito. Laboratório 3 e 4 é tipo determinar resistência, umas coisinhas bobas. Joga o laser na parede e vê que a difração é redonda, circular. Ridículo.

Paula – E eu acho que em laboratório 3 e 4 a gente perdia muito porque era muito circuitozinho e, não sei se era falta de maturidade ou falta de conteúdo, mas muitas vezes eu não sabia o que eu estava fazendo. Eu ia pelo o que o professor mandava fazer.

Sílvia – Foi bem o que o Miguel falou, não tinha muito objetivo de aprender. Era montar, fazer análise....

Paula – E era um relatório por semana, que eu fazia normalmente com a Sílvia, relatórios de 30 páginas, com várias experiências...

Eu – Me fala sobre a divisão dos trabalhos. Como é que vocês se dividem, vocês conseguem sentar os quatro e fazer relatório?

Sílvia – Não.

Miguel – Eu acho que antes, laboratório 3, 4 até no 5 eu acho que dava porque nós éramos outros (3 pessoas) e a gente tinha mais tempo, fazia menos matérias e até dava para pensar em se reunir. Mas agora nesse semestre, a gente divide, cada um faz uma parte...

Eu – Cada um faz uma parte e depois alguém junta, é isso?

Miguel – Teve até uma vez que a gente se reuniu para juntar tudo.

Sílvia – Foi o único relatório que a gente pegou para fazer mais junto.

Eu – E isso ajuda, atrapalha ou tanto faz?

Sílvia – Eu acho que ajuda mas, você acaba levando mais tempo porque você discute mais.

Eu – É, porque tem gente que prefere trabalhar sozinho, tem gente que gosta de fazer laboratório sozinho, que não gosta de trabalhar em grupo.

Paula – O laboratório é em grupo mas eu acho que atrapalha porque, eu pelo menos, me desconcentro muito fácil quando tem gente do meu lado, eu não consigo manter o que eu estou fazendo e acabo perdendo muito mais tempo do que se eu estivesse sozinha.

Miguel – Então, perde mais tempo mas é aquela coisa, aquilo do que você não tem certeza, você tem a oportunidade de discutir com alguém.

Sílvia – Você aprende mais.

Miguel – Ao passo que se você estiver fazendo sozinho, você vai mais rápido justamente porque você não discute, você tem que fazer todo o trabalho sozinho.

Eu – Quanto a esse aprende mais, o que vocês (cada um de vocês) diriam que vocês mais aprenderam com essa seqüência de laboratórios? Desses seis laboratórios que vocês fizeram, como vocês apontariam: esse laboratório me deu tal e tal habilidade?

Eu – Por que isso é muito diferente para cada pessoa, tem gente que fala assim: eu aprendi a fazer relatório que eu não sabia; eu aprendi a mexer com os instrumentos ou ainda não sei mexer, não conheço um monte de coisas, me dá um osciloscópio na mão e eu não sei o que fazer com aquilo, mas eu perdi um pouco do medo. A que vocês acham, olhando para esses laboratórios ou somente para esse último se for o caso?

Sílvia – Eu acho que o que eu mais aprendi foi o tratamento estatístico, propagação de incerteza, porque incerteza eu nunca tinha aprendido na vida e no laboratório tudo tem

incerteza e a outra coisa foi a análise experimental, assim você tratar experimentalmente os dados, então você tem uma teoria e ver até que ponto ela é válida ou não e porquê, as dificuldades de você reproduzir a experiência ou não, mesmo em prova, as vezes você está vendo uma determinada questão e só de olhar você já sabe mais ou menos o que você pode fazer com aquilo ali, dar uma estimativa para ver se você está indo no caminho certo ou não e comparar o que você teve. Acho que foi isso, mas eu ainda me perco muito com todos os aparelhos do laboratório 3 e laboratório 4, do osciloscópio eu não tenho total domínio dele.

Eu – E é muito difícil ter. É uma coisa comum..

Miguel – Eu acho que justamente, o importante desse laboratório não é dominar tudo do osciloscópio, saber tudo, no nosso caso como a gente está trabalhando, com os amplificadores. Não é saber tudo, é ter um primeiro contato. Contato que como você provavelmente vai para uma área teórica, você nunca mais vai ter na vida.

Eu – E se for para uma outra área que tenha algo relacionado....

Miguel – Gozado que todo teórico diz que física é uma ciência experimental mas, não dá o devido respeito assim, pelo menos uma vez na vida eu acho que é interessante, sabe entre tanta coisa chata que você vê, mas que é bom você ver pelo menos uma vez na vida ter o contato. Acho que esse é um lado interessante do laboratório

Eu – E você, Paula?

Paula – Uma coisa que eu aprendi foi colocar algumas idéias no papel, me organizar para apresentar uma coisa, sabe organização do trabalho escrito e também aprendi pelo menos assim, as anotações eram quase sempre eu e a Sílvia que fazíamos, os outros quase nem anotavam, e acho que anotar assim, tomar o cuidado de anotar sabe, eu preciso dessa incerteza, então vamos anotar, desses detalhes, porque muitas vezes nos laboratórios 3 e 4 a gente falava a gente esqueceu de anotar isso. Aí é aquele chute que todo mundo faz (o acoxambramento, ajuste dos dados ou, ajuste posterior dos dados) isso, o ajuste.

Eu – Bom, falando da questão das anotações, isso para mim é extremamente interessante. Eu já reparei mesmo que nas aulas vocês duas, normalmente, estão com uma folha lá e ficam anotando. O que vocês anotam? As dúvidas que vocês tem enquanto o professor está explicando, ou explicação do professor vocês não anotam? Que tipo de coisas vocês anotam além do que ela já indicou?

Sílvia – Eu normalmente anoto as explicações que o professor faz, não o Prof. 2 mas o Prof. 1 fez algumas deduções no começo e eu procuro anotar e quando eu vou ouvindo se tem alguma coisa que eu não entendo eu procuro escrever assim frases, mesmo que estejam soltas que ele falou para depois tentar encaixar em algum lugar. Mas, as coisas que eu assim, teoricamente

eu acho já sei, eu não anoto tanto. Mais assim, deduções, algum comentário que eu acho interessante, coisas para gente não esquecer de colocar no relatório e quando eles falam da análise que precisa fazer, aí eu anoto tudo.

Eu – E durante as experiências, normalmente anota alguma coisa ou não anota?

Sílvia – Anota quando a gente tira os dados, como a Paula estava falando, o que é necessário anotar, o que a gente vai usar, então as incertezas, tem umas que a gente não precisa, umas que precisa, como na última experiência (Efeito Compton) aparecia uns picos e tinha uma janelinha onde apareciam vários valores e a gente não ia precisar de todos, então a gente anotava só o que precisava.

Eu – E assim o que dá certo, o que dá errado, esse tipo de coisas vocês não costumam anotar? Tipo assim, fizemos isso e não era isso que era para fazer, etc. Vocês não costumam anotar mas, discutem sobre o assunto?

Paula – Inclusive a gente apaga depois.

Miguel – A grande diferença é que aqui a gente sabe o valor que tem que dar, então vai que você esteja fazendo uma experiência que você não sabe, que você queira descobrir o que é...

Eu – Você acha que seria diferente se você estivesse fazendo alguma coisa que não tivesse a priori um resultado final?

Miguel – Acho que seria muito diferente e acho até que seria importante que tivesse, claro que essas experiências são importantes, eu acho muito interessante fazer mas, eu acho que seria interessante também ter uma experiência que você não soubesse exatamente, analisar um fenômeno que você não soubesse a priori explicar, talvez se você pensasse bastante você até soubesse resolver mas, tentar ver os dados experimentalmente assim, eu acho que...

Eu - Seria legal e talvez aí as prioridades seriam outras?

Miguel - Seria diferente, você deveria pensar, porque aqui do jeito que é você sempre tem um professor explicando o que você tem que fazer, quais são as dificuldades, o que você tem que fazer para passar pelas dificuldades. Se você não dá bola, tem a apostila que fala a mesma coisa. Você não pensa, ou melhor, você não precisa pensar, você pensa se você quiser.

Eu – Agora deixa eu comentar uma coisa. Teve um outro grupo que comentando exatamente sobre essas questões, sobre o que vem pronto etc., um deles comentava assim: putz, é legal a gente não saber o resultado final, as dificuldades, tal e tal, mas ao mesmo tempo, se a gente não soubesse, não daria tempo.

Miguel – Daí eu concordo, é verdade. Eu não tenho a solução para isso.

Eu – E mais interessante mas demanda mais tempo, porque vocês iriam encontrar dificuldades que não estavam previstas anteriormente, que ninguém te alertou sobre elas, não deixa de ser

interessante mas, tem seu outro lado. Bom, deixa eu falar uma coisa sobre os professores, você comentou assim, o Prof. 1 fazia tal coisa... tem diferença entre um professor e outro? Desse laboratório Específico eu estou falando mas, se vocês quiserem falar de outros professores de laboratórios que vocês tiveram. De postura mesmo de professor, tipo assim, algumas impressões de algumas experiências para algumas situações, por exemplo, eu vejo o Prof. 2 se envolvendo muito mais no sentido assim: olha, o que vocês estão fazendo? Já conseguiram isto, não conseguiram? Isso daqui você faz assim, assim ou assado. Em algumas observações que eu fiz, teve um grupo que estava se matando, já haviam passado horas, eles não tinham nem conseguido aprontar a montagem e o Prof. 1 não se envolveu, não levantou, não foi lá, etc. e tal. Então eu percebi uma diferença neste sentido. Vocês vêm essa diferença.

Paula - Eu acho que ao contrário. Eu acho que o Prof. 2 fica, eu acho, muito mais afastado, assim, claro se você chamar, e falar: professor, por favor ajuda, ele vai lá e ajuda, os dois tanto faz mas, o Prof. 2 é um pouco assim ele fala e larga tudo na sua mão. Acho que nesta última experiência ele está ajudando a gente porque é muito complicado o aparato e acho que é mais por isso, porque em outros laboratórios ele dá a aula dele e deixava a gente com tudo, teve aula até que ele saia, ficava por perto mas nem...Acho que o Prof. 1 é um pouco contrário, desde a primeira aula ele já vira e fala: vocês tem que... , ele dá os passinhos do que a gente tem que fazer e fala tudo mais certinho e você sabe o que você está fazendo e quanto teria que dar e você já tem uma noção de como vai ser sua análise de dados. Eu pelo menos, quando a gente está medindo eu ainda vejo: esse dado está muito fora, vamos fazer de novo a medida, que deixa de ser...eu já estou prevendo o que vai acontecer.

Sílvia – Acho que muda muito a postura de um laboratório para outro. No começo acho que eles ficavam muito mais em cima da gente, vendo se está dando certo se não está e ajudava muito mais, estavam sempre ali: o que deu errado, o que não deu? Acho que a partir do, não sei acho que foi do laboratório5, eles largaram, é isso e tchau. O Prof. 2 é bem isso. O Prof. 1 dá passo a passo: olha você tem que tomar esses dados, com isso você vai fazer aquilo, aquilo vai dar nisso. O Prof. 2 ele dá a explicação muito mais teórica do que a parte passo a passo do experimental e ele, assim, ele larga. No laboratório passado ele nem na sala ficava.

Eu – Laboratório 5?

Sílvia – É, laboratório 5. Ele ficava no corredor, para não te responder.

Eu – Eram os mesmos professores?

Sílvia – Eram, mais a gente tinha mais dois, além do Prof. 2 e do Prof. 1.

Eu – O Prof. 2 deu uma experiência, o Prof. 1 deu outra e tinha mais outros dois professores?

Sílvia – É, eu não sei quem é melhor ...

Eu – O que você acha, Miguel?

Miguel – Eu acho que essa assim meio largada, talvez seja até mais ou menos proposital....

Sílvia – Não, não, eu acho isso bom também, não estou criticando...

Miguel – ... justamente neste sentido, acho que isso tem seu lado positivo. Mas eu acho que essa diferença entre o Prof. 2 e o Prof. 1 seja mais uma questão de jeito. O Prof. 1 tem esse jeito mais quietão mas, quando você chama ele vai e te atende. O Prof. 2 não, quando você chama ele vai “brinca?”...

Sílvia – Inclusive na experiência do Prof. 1 – a gente tinha começado a fazer a experiência - ninguém nem tinha notado que tinha alguma coisa errada, o Prof. 1 foi lá, eu até achei estranho: o que ele está fazendo aqui? Ele começou a mexer em tudo, mudou tudo de lugar, eu falei: por quê? Aí que a gente foi ver que tinha alguma coisa errada.

Eu – Eu não estou tomando partido de um nem do outro, mesmo porque eu não os conheço e mais para suscitar essa discussão por causa disso, porque o que eu acho interessante é esta discussão a posteriori, não do professor mas do envolvimento, se esse envolvimento maior ajuda ou atrapalha, se vocês enxergam isso como uma coisa proposital ou não. Porque você pode estar olhando essas coisas de duas formas, ele ajudando mais a coisa corre mais rápido, ele ajudando menos a gente tem que se virar mais a gente pode aprender mais ou não.

Miguel – Volta naquele problema de você fazer uma experiência desconhecida ou fazer uma experiência que está toda mastigada. Então acho que isso seria mais ou menos um meio termo, você faz uma experiência que você já conhece, você tem toda a base teórica mas, eles deixam você se virar um pouquinho ali na parte experimental.

Eu – E prova, avaliação, vocês acham coerente as avaliações dos laboratórios com as propostas do laboratório?

Paula – Depende de quais avaliações. Variou muito uma avaliação da outra, em todos os laboratórios que a gente fez. Acho que pelo menos dos dois últimos, o laboratório5 a avaliação foi muito extensa, extensa não, acho que depende se a avaliação era do diurno ou do noturno, porque teve essa diferença entre a prova do diurno e do noturno.

Eu – A do noturno era mais fácil?

Paula – Não, não isso. Sabe, as vezes sei lá, calha de ser. Mas você teve, por exemplo, teve a experiência do Prof. 1, da prova do Millikan no semestre passado, que foi ridícula, foi você tem que calcular...

Miguel – Trabalho braçal.

Paula – É, trabalho braçal, colocar número na calculadora, multiplicar e dividir, fazer só isso.

Miguel – Se você tivesse um computador ali, você faria aquilo em cinco minutos, mas você teve que gastar quarenta minutos para fazer no papel.

Paula – E era assim um histograma horrível, porque era minúsculo, você nem conseguia enxergar as divisões, uma coisa assim que sabe, isso não me avaliou.

Miguel – É difícil você fazer uma prova de laboratório, o que ela tem que ter? Eu não sei. Eu lembro que teve, acho que laboratório³, as provas eram provas experimentais, eles te davam uma tarefa para fazer e você tinha que redigir um mini-relatório na hora.

Eu – Você acha isso bom?

Miguel – Eu acho isso bom porque tipo, aí que você vai estar testando os objetivos do laboratório, justamente uma parte fazendo a experiência e a outra fazendo o relatório. Mas você tem aquela história que não dá tempo né? Você tem que fazer tudo que você fez em três aulas em uma só, e ainda tem que fazer o relatório na hora para entregar.

Eu – Deixa eu falar uma coisa de nota então, eu estou aqui com a nota de vocês. Miguel e Paula foram muito bem na prova, né? A Sílvia não foi tão bem e o João também não e, foram muito melhor na parte da prova sobre Mov. Browniano e isso parece que foi meio que uma constante. Quem foi muito bem, foi muito bem nas duas partes mas, a maioria do pessoal foi melhor na prova do Browniano do que na prova do Raio X. Porque vocês acham que isso aconteceu? O experimento do Raio X é mais complicado do que do Browniano?

Sílvia, Miguel e Paula – É.

Paula – A prova do Prof. 2 foi muito extensa, abrangeu tudo. Eu particularmente, gostei da prova apesar de ter sido extensa, porque o Raio X estava dividido em dois, três experimentos: difração de elétrons, Lei de Morley e não sei mais o que, e ele pegou as três partes da matéria – acho que eram duas, não me lembro.

Eu – Mas você achou interessante.

Paula – Eu achei, foi uma coisa que avaliou, isso eu achei. O problema também é que é muito pouco para você..., fica estranho, é uma questão para te avaliar e qualquer erro que você comete você acaba perdendo ponto.

Eu – Mas a experiência de Raio X, elas são três na verdade, ela é mais fácil ou mais complicada do que a do Browniano?

Paula – Mais fácil.

Sílvia – Mais difícil.

Miguel – O Browniano é uma coisa chata, né? Você fica lá, é uma parte mais braçal assim. Você tem que ficar lá...você está perguntando da experiência em si, né?

Eu – Da experiência em si.

Miguel – Você tem que achar a gota, ficar olhando...

Paula – Ah, você está falando da experiência? Ah, tá.

Miguel – Cuidar para não perder ela, se você perder, perde todos os dados.

Eu – É um experimento chato de fazer, mas é mais fácil de entender?

Miguel – Exatamente, chato de fazer mas a parte de entender é bem mais simples.

Eu – A teoria é mais simples...

Paula – Só mexe com mecânica. É uma gotinha subindo e você só aplica as forças e acabou.

Eu – E isso vocês acham que influenciou nesta questão da avaliação? Vocês acham que por isso...

Miguel – Provavelmente. Porque a parte teórica é mais simples é a parte experimental que é mais complicada.

Paula – Para ser sincera eu estava esperando o contrário, estava esperando ir melhor na de Browniano e pior na do Prof. 2 e aconteceu justamente o contrário. Eu ainda não sei, eu estava falando com a Sílvia que a gente vai ver a prova porque eu não sei o que eu fiz de errado.

Eu – Bom para terminar, eu sei que vocês querem ir embora, vocês já terminaram e tudo o mais. É o último laboratório de vocês?

Paula – É a última experiência. (risos aliviados)

Eu – É a última experiência.

Sílvia – Ainda não.

Eu – Por quê?

Sílvia – Porque a gente ainda tem os da astronomia para fazer.

Paula – Pelo que me consta os laboratórios da astronomia é só mexer no computador, aprender a utilizar... são programas eu acho e um pouco de idéias básicas. Acho que não vai ser tão experimental.

Sílvia – É, acho que é mais simples em relação ao... não vai ser experimental mas ainda tem...

Eu (para Miguel) – O seu terminou?

Todos riem da cara aliviada dele.

Eu – É muito isso que eu queria saber, desse sentimento assim...graças a Deus acabou...

Sílvia – Nossa, para mim é um graças a Deus.

Eu – E para vocês para quem ainda não acabou, vocês tocaram no computador e essa é minha última questão para os três que é assim: Vocês acham que esses aparelhos, vocês recebem essas caixinhas fechadas com alguns botões, a maioria das vezes vocês não sabem o que está acontecendo aqui dentro, etc. e tal. Como vocês vêem isso? Isso ajuda, isso atrapalha? Os

primeiros laboratórios tem essa função de vocês estar entendendo essas coisas, ou não? Eu queria que vocês falassem sobre essa questão, dos equipamentos em si.

Miguel – Bom, eu acho que o laboratório 3 e laboratório 4 tinham um pouquinho desse intuito de você se familiarizar com o osciloscópio e tal mas, como eu já falei antes, acho que o importante não é você saber o detalhe, o computador você não sabe também exatamente como funciona, como o processador leva a informação. Mas você precisa saber a idéia da coisa, como usar, o que está entrando nesta caixa, o que você ajusta, qual o princípio da coisa e o que sai, como sai os resultados. Você não precisa entrar tanto em detalhes.

Eu – Você acha que para você os laboratórios serviu a esse propósito?

Miguel – Acho que um pouco serviu. É aquela coisa, você vê um osciloscópio você não sai correndo, você sabe..

Eu – Você vê um amplificador e sabe o que ele vai fazer com...

Miguel – Você sabe um amplificador, eu não sei o que é cada cabo mas, eu sei que no amplificador está entrando um sinal e vai sair um sinal maior, para você pegar a corrente....

Eu – E você Sílvia?

Sílvia – Eu concordo um pouco com o que o Miguel falou mas, eu acho que é bem pouco. Eu não sei se o objetivo era esse ou não mas, acho que você se familiariza pouco, pelo menos eu, pouco com os instrumentos. Você fica muito mais em cima de análise de dados do que com o próprio contato com a instrumentação.

Eu – E o fato desses instrumentos já virem fechadinhos assim, você não saber exatamente o que está lá dentro, isso atrapalha? Ou você acha que não?

Sílvia – Nesse ponto é bem o que o Miguel falou. Você tem que saber o que entra, saber como tratar aqueles dados, o que você vai precisar tirar. Porque, por exemplo, o osciloscópio. O osciloscópio, ainda mais nesta experiência, dava para você fazer um monte de coisas com ele. Ele te dava umas curvas que na verdade, você não ia precisar. Então, a questão era, o que era que a gente precisaria ligar para ter o sinal que a gente precisava. Então, hoje, eu tenho medo do osciloscópio mas também não é muito.

Eu – E você Paula, como vê esta questão dos instrumentos usados nos laboratórios? Teve muita crítica assim: essas porcarias não funcionam, esse negócio deveria ser todo automatizado.

Miguel – Laboratório 3 e 4 tem muito isso. Você pega um variável que não funciona, outro negócio dá pau na rede elétrica e sai faísca.

Sílvia – Laboratório 3 eu tive um problema assim, foi na hora da prova, até eu acabei indo super mal na prova, porque eles me davam um fusível que estava queimado, não funcionava, não funcionava e até descobrir já tinha passado três horas.

Paula – Então, eu não sei, acho que eu gostaria de aprender muito mais como as coisas funcionam, pelo menos esses instrumentos mas, eu tenho uma idéia do que um contador Geiger é, o que acontece ali. O osciloscópio eu acho até que em laboratório 4 eu xeretei bastante nele, acho que até tenho um pouco mais assim de...., a gente usava aqueles osciloscópios horríveis, que eram aquelas caixonas assim como tela de TV, (respondendo a um questionamento do Miguel) só laboratório 4, tá louco, aquele primeiro eu não tinha nem coragem de chegar perto, esses com botões mais bonitinhos eu já...claro, eu não sei mexer naquilo mas, eu não sei se você reparou mas eu sou a que menos põe a mão na massa.

Eu – Por que?

Paula – Porque eu não me identifico. Sabe, como quando o pessoal falou que deu graças a Deus que tinha terminado, eu fiquei muito assim, eu odiava ir para aula de laboratório 3 e laboratório 4, odiava mesmo, de ficar de mau humor, de chegar na sala e achar o professor chato, tudo era chato, tudo era ruim mas, eu aprendi a gostar de laboratório 5 e laboratório 6, achei que foi bem mais legal, eu também gastava tempo fazendo relatório mas era um tempo bem menor, incomparável com laboratório 3 e 4 e acho que isso me fez aprender muito mais do que laboratório 3 e 4.