



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS – CAMPUS BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA

SERGIO LUIZ BRAGATTO BOSS

ENSINO DE ELETROSTÁTICA – A HISTÓRIA DA
CIÊNCIA CONTRIBUINDO PARA A AQUISIÇÃO DE
SUBSUNÇORES.

BAURU – SP

2009

SERGIO LUIZ BRAGATTO BOSS

**ENSINO DE ELETROSTÁTICA – A HISTÓRIA DA
CIÊNCIA CONTRIBUINDO PARA A AQUISIÇÃO DE
SUBSUNÇORES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Área de Concentração em Ensino de Ciências, Faculdade de Ciências, UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Bauru, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. João José Caluzi

BAURU – SP

2009

Boss, Sergio Luiz Bragatto.

Ensino de eletrostática: a história da ciência contribuindo para a aquisição de subsunçores / Sergio Luiz Bragatto Boss, 2009.

136 f.

Orientador: João José Caluzi

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2009

1. História da Ciência. 2. Aprendizagem Significativa. 3. Subsunçores. 4. Ensino de Física. 5. Eletrostática. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

SERGIO LUIZ BRAGATTO BOSS

**ENSINO DE ELETROSTÁTICA – A HISTÓRIA DA
CIÊNCIA CONTRIBUINDO PARA A AQUISIÇÃO DE
SUBSUNÇORES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Área de Concentração em Ensino de Ciências, Faculdade de Ciências, UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Bauru, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João José Caluzi

UNESP – Campus Bauru

Profa. Dra. Shirley Takeco Gobara

UFMS

Profa. Dra. Sandra Regina Teodoro Gatti

UNESP – Campus Bauru

Bauru, 17 de fevereiro de 2009.

DEDICO

À Vanessa,

Aos Meus Pais, Meus Irmãos, à Tia Cleo,

Aos sujeitos desta pesquisa, alunos da Licenciatura em Física da UNESP-Bauru.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço aos meus pais pela vida e ensinamentos;
- À Vanessa, um Anjo que Deus designou para me guardar nesta vida;
- Aos meus irmãos, por todo companheirismo, incentivo e carinho;
- À D. Abgail, sogra querida, que desde sempre me tratou como um filho;
- Ao Professor Doutor João José Caluzi, pelo inestimável conhecimento que tem me proporcionado desde a minha Iniciação Científica e por sempre ter acreditado e investido em mim. Aproveito para registrar aqui a minha admiração e o meu respeito, não só pela sua indiscutível competência profissional, mas também pelo exemplo de ser humano;
- Aos amigos João Mianutti, Lucas Teixeira, Moacir Souza Filho e Moisés Nascimento pela companhia e por todas as discussões imprescindíveis para o desenvolvimento desta dissertação e para minha formação acadêmica;
- Aos amigos Neilo Trindade e Maycon Motta, por estarem presentes em meu caminho desde os primeiros dias da nossa graduação;
- Ao amigo João Paulo Martins de Castro Chaib, por todas as discussões sobre História da Ciência, pelos trabalhos que fizemos juntos e, principalmente, pelo aprendizado que essa interação me proporcionou;
- Ao Amigo Diogo Roversi, pelo companheirismo durante o segundo ano de mestrado;
- As Amigas Alessandra Viveiro e Noemi Sutil, por todo companheirismo e incentivo;
- Ao Professor Doutor Paulo Noronha Lisboa Filho, por ter permitido a coleta de dados deste trabalho em sua disciplina de Física Geral III, mas, principalmente, pelo incentivo a esta pesquisa, pela participação efetiva nas discussões dos textos históricos e pelo entusiasmo com que aborda a História da Ciência e a leva para suas aulas;
- Ao Professor Doutor Francisco Carlos Lavarda, que desde os primeiros meses da minha graduação tem sido mais que um professor, tem sido um amigo;
- Ao Professor Doutor Renato Tonin Ghiotto, por todas as vezes em que parou seu trabalho para me ouvir e me auxiliar nos momentos difíceis;
- As Professoras Doutoras Rosa Scalvi e Elizabete Rubo, pela forma gentil e carinhosa com que sempre me trataram, pelo incentivo e pela torcida;
- Ao Professor Doutor Edson Sardella, pela oportunidade ímpar de estágio docência e por todos os ensinamentos que me proporcionou;

- Ao Professor Doutor André Koch Torres de Assis, pelas discussões e leitura criteriosa dos meus trabalhos sobre História da Ciência;
- À Professora Doutora Penha Maria Cardoso Dias, a quem ainda não conheço pessoalmente, mas sou extremamente grato, pois foram seus trabalhos que me apresentaram a Teoria de Ausubel e a possibilidade de trabalhar com História da Ciência sob esta perspectiva;
- Ao Professor Doutor José Augusto Pontes Neto, pelas sugestões quanto à teoria de Ausubel;
- Ao Professor Doutor Marcelo Carbone Carneiro, pelos preciosos ensinamentos, pelas leituras criteriosas dos meus projetos de mestrado e doutorado, bem como pelas valiosas sugestões;
- À Professora Doutora Ana Maria de Andrade Caldeira, por todo incentivo e apoio que tem me dado desde a Iniciação Científica;
- Às Professoras Doutoras Sandra Gatti e Shirley Gobara, pelas participações nas minhas bancas de qualificação e de defesa, pela leitura criteriosa do trabalho e pelas valiosas sugestões;
- À Ana Grijó, supervisora da Seção de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências da UNESP-Bauru, por toda atenção e presteza para com os alunos;
- À Maria Augusta e à Vilma, secretárias do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da UNESP-Bauru;
- Aos funcionários da Biblioteca, em especial ao pessoal do serviço de *Empréstimo Entre Bibliotecas* (EEB), pois sem esse trabalho não seria possível desenvolver esta dissertação;
- Aos funcionários da *Seção de Apoio Administrativo* (SAAd) da Faculdade de Ciências da UNESP-Bauru, em especial à Rosângela, por sempre estar disposta a auxiliar;
- E por fim, agradeço imensamente aos Sujeitos desta pesquisa, alunos da Licenciatura em Física da Faculdade de Ciências da UNESP-Bauru, pela participação, empenho, interesse, dedicação e paciência.

“Pensamentos sem conteúdo são vazios,
intuições sem conceitos são cegas.”

Immanuel Kant

BOSS, S. L. B. *Ensino de Eletrostática – A História da Ciência contribuindo para a aquisição de subsunçores*. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2009.

RESUMO

A História da Ciência pode ser uma importante ferramenta para fornecer subsídios para a aprendizagem significativa de conceitos físicos. Nesta pesquisa, promovemos discussões sobre textos históricos de fonte primária em sala de aula, em uma disciplina de Física Geral III de uma licenciatura em Física. O objetivo foi verificar se estas discussões foram profícuas para promover a aquisição de subsunçores, pelos graduandos, para a aprendizagem significativa dos conceitos de carga elétrica, de eletrização e de materiais condutores e isolantes. Esta é uma pesquisa qualitativa, que pode ser classificada como estudo de caso. A pesquisa está fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e no conceito de organizador prévio. A coleta de dados consistiu em aplicar um questionário inicial para a avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos. Em seguida, foram aplicados três textos históricos, de fonte primária, de eletrostática do século XVIII (S. Gray, C. F. Du Fay e B. Franklin), e então aplicamos um segundo questionário, para avaliar os conhecimentos que os graduandos adquiriram com as discussões dos textos históricos. Os textos foram aplicados antes de o professor ministrar o conteúdo de eletrostática da disciplina de Física Geral III, com o objetivo de fornecer aos graduandos conhecimentos relevantes para a aprendizagem significativa deste conteúdo. O tratamento e a análise dos dados coletados foram feitos com base na análise de conteúdo, a qual subsidiou a sistematização e categorização dos dados brutos. Os dados revelam que parte dos graduandos adquiriu aspectos importantes dos textos discutidos, e desta forma, passaram a ter disponíveis, em sua estrutura cognitiva, alguns subsunçores para a aprendizagem significativa dos conceitos de carga elétrica, de eletrização e de materiais condutores e isolantes. Tendo em vista estes subsunçores adquiridos, discutimos de que forma eles podem auxiliar na aprendizagem significativa dos conceitos mencionados.

PALAVRAS-CHAVE: História da Ciência. Aprendizagem Significativa. Subsunçores. Ensino de Física. Eletrostática.

BOSS, S. L. B. *Ensino de Eletrostática – A História da Ciência contribuindo para a aquisição de subsumores*. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2009.

ABSTRACT

The History of Science can be an important tool to supply subsidies for the meaningful learning of physical concepts. In this research, we promoted discussions about historical texts of primary source in classroom, with university students of Physics, in a discipline of General Physics III. The goal was to verify if these discussions were useful to promote the acquisition of subsumers for the meaningful learning of the electric charge concept, electrification concept and conducting and insulating materials concept. This is a qualitative research, that it can be classified as a study of case. The research is founded in the Theory of meaningful verbal learning of David Ausubel and in advance organizer's concept. The collection of data consisted in applying an initial questionnaire for the evaluation of relevant concepts in the learner's cognitive structure, soon afterwards they were applied three historical texts of primary source of electrostatics of the 18th century (S. Gray, C. F. Du Fay and B. Franklin), and then we applied a second questionnaire to evaluate the knowledge that the learners acquired with the discussions of the historical texts. The texts were applied before professor supply the content of electrostatics, with the goal of supplying to the learners relevant knowledge for the meaningful learning of this content. The treatment and the analysis of the collected data were made with base in the content analysis theory, which subsidized the systemization and categorization of the data. The data reveal that some learners acquired important aspects of the discussed texts, and this way, they started to have available in his cognitive structure some subsumers for the meaningful learning of the electric charge concept, electrification concept and conducting and insulating materials concept. At the finish, we discussed how these subsumers can aid in the meaningful learning of the mentioned concepts.

KEY-WORDS: History of Science. Meaningful verbal Learning. Subsumers. Physics Education. Electrostatic.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	22
2.1 INTRODUÇÃO.....	22
2.2 O SIGNIFICADO E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	24
2.2.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	24
2.2.2 SIGNIFICAÇÃO POTENCIAL E O SIGNIFICADO PSICOLÓGICO	25
2.2.3 RELAÇÕES NÃO-ARBITRÁRIAS E NÃO-LÍTERAIS.....	27
2.2.4 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E APRENDIZAGEM DE MATERIAL POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO	28
2.3 TIPOS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	29
2.3.1 A INTERAÇÃO DE NOVAS INFORMAÇÕES COM IDÉIAS EXISTENTES.....	30
2.3.2 APRENDIZAGEM SUBORDINATIVA (OU SUBSUNÇÃO).....	31
2.3.3 APRENDIZAGEM SUPERORDENADA E APRENDIZAGEM COMBINATÓRIA	32
2.4 TEORIA DA ASSIMILAÇÃO	34
2.4.1 O LIMAR DE DISPONIBILIDADE	37
2.4.2 A DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA E A RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA	37
2.4.3 DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA.....	38
2.4.4 RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA	38
2.5 ESTRUTURA COGNITIVA.....	39
2.6 NATUREZA E USO DE ORGANIZADORES	40
2.7 PROPOSTA PARA UM FORNECEDOR DE SUBSUNÇOR	43
3 METODOLOGIA	46
3.1 A PESQUISA.....	46
3.1.1 A PESQUISA QUALITATIVA	46
3.1.2 A MODALIDADE DA PESQUISA.....	47
3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	48
3.2.1 DE COLETA DE DADOS	48
3.2.2 DE ANÁLISE DE DADOS	49
3.3 ORGANIZAÇÃO DA ANÁLISE.....	50
3.3.1 A PRÉ-ANÁLISE.....	50
3.3.2 A EXPLORAÇÃO DO MATERIAL.....	51
3.5 PROCEDIMENTOS PARA APLICAÇÃO DOS TEXTOS	52
3.6 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS.....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54

4.1 ELETROSTÁTICA – ALGUMAS IDÉIAS IMPORTANTES.....	55
4.2 QUESTIONÁRIO 01	58
4.2.1 QUESTÃO 01	59
4.2.2 QUESTÃO 02	61
4.2.3 QUESTÃO 03	62
4.2.4 QUESTÃO 04	65
4.3 QUESTIONÁRIO 02	67
4.3.1 QUESTÃO 01	68
4.3.2 QUESTÃO 02	84
4.3.3 QUESTÃO 03	91
4.3.4 QUESTÃO 04	97
4.3.5 QUESTÃO 05	100
4.3.6 QUESTÃO 06	103
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
REFERÊNCIAS	111
APÊNDICES.....	117
APÊNDICE A – Questionário 01 – Avaliação dos Conhecimentos Prévios	118
APÊNDICE C – Texto 01 – Stephen Gray	120
APÊNDICE D – Texto 02 – Charles F. C. Du Fay	126
APÊNDICE E – Texto 03 – Benjamin Franklin	131
APÊNDICE F – Condução da Eletricidade em Isolantes	133

1 INTRODUÇÃO

Há algum tempo a inserção da História da Ciência nos currículos escolares tem sido alvo de discussões entre pesquisadores da área de Ensino de Ciências. Com o intuito de contribuir com estas discussões, apresentaremos aqui uma pesquisa que analisou a inserção de textos históricos, de fonte primária, no ensino de Física em Nível Superior, tendo como referencial teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Nesta Introdução, apresentaremos alguns pontos de vista sobre a utilização da História da Ciência no ensino de Ciências, aspectos gerais desta dissertação e a nossa motivação para esta pesquisa.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), o ensino de Física, em nível médio, deve contribuir para a formação de uma cultura científica efetiva, permitindo ao cidadão a interpretação de fatos, fenômenos e processos naturais. Entretanto, para que isto se torne realidade, é essencial, entre outras coisas, “que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas”. (BRASIL, 2002, p. 22).

A presença do tema História da Ciência nos PCN's mostra a sua importância para as questões educacionais contemporâneas. A defesa da utilização da História da Ciência no ensino de Ciências apóia-se em vários argumentos, um deles é que a História da Ciência é necessária para o entendimento da natureza da Ciência. Desta forma, o ensino de Ciências deve, desde os primeiros anos escolares, empenhar-se em desmitificar a visão estereotipada que, em geral, se tem dos cientistas. Assim, é necessário apresentar aos alunos o processo de fazer Ciência, o que contribuiria para situar os estudantes em uma realidade científica mais ampla. (DIAS; MARTINS, 2004, p. 517). A inclusão e a discussão de relatos, fatos e excertos de textos históricos em sala de aula poderiam auxiliar a introdução de idéias importantes para a compreensão do processo de fazer Ciência, tais como: cientistas são pessoas comuns, falíveis, sujeitos a problemas e a influências do contexto social; a ciência é feita em coletividade, e não por poucos cientistas geniais; o trabalho do cientista não se resume à observação ou a execução de experimentos, evolve também a elaboração criativa de hipóteses, teorias e modelos; o desenvolvimento científico não se dá por acúmulo de conhecimento, mas por caminhos não-lineares que envolvem muita controvérsia, disputas, rupturas, transformações (BASTOS, 1998, p. 33-4). Por meio da História da Ciência é possível ilustrar aspectos da Filosofia e da metodologia da Ciência, tais

como: a impossibilidade de provar teorias; a mutabilidade e o caráter provisório do conhecimento científico; além de outros fatores que podem contribuir e subsidiar a formação de uma visão orgânica e sintética sobre a Ciência. Isto pode auxiliar na compreensão da natureza da atividade científica e do processo de construção do conhecimento. (DIAS; MARTINS, 2004, p. 517-8).

A História da Ciência pode contribuir para a humanização da Ciência, possibilitando a discussão, em sala de aula, da influência de fatores sociais, políticos, econômicos, éticos, culturais e religiosos que ela sofre em seu decurso. Evidencia também a existência de uma ideologia dominante sobre a atividade científica e quais os setores que controlam e se beneficiam desta atividade, mostrando como o desenvolvimento científico influencia a sociedade e de que maneira as demandas geradas a partir de fatores econômicos, sociais, políticos, geográficos, históricos, culturais, etc., influenciam o desenvolvimento da Ciência. (BASTOS, 1998, p. 33-4; VANNUCCHI, 1996, p. 19; DIAS; MARTINS, 2004, p. 517).

Pesquisas também apontam para um possível contraponto entre o desenvolvimento histórico do conhecimento científico e a aquisição de conhecimento pelo aluno. A História da Ciência pode auxiliar pesquisadores e professores a compreenderem determinadas dificuldades dos alunos, a entenderem melhor as dúvidas dos estudantes, a respeitarem as dificuldades do assunto e a tentarem abordar o problema com mais cuidado, tendo em vista as dificuldades enfrentadas na construção e desenvolvimento do conhecimento científico. Pode auxiliar também no planejamento e na organização do programa e na escolha de atividades e experimentos. (CAJORI, 1899, p. 278; MARTINS, 1988, p. 56; MATTHEWS, 1994, p. 51-2; CARVALHO; VANNUCCHI, 1996, p. 7; FURIÓ; GUIASOLA, 1998a, 1998b; SOUZA-FILHO et al., 2008a, 2008b). Determinadas dificuldades da comunidade científica chamam a atenção para dificuldades não-desprezíveis dos estudantes ao aprenderem uma nova teoria (VILLANI et al., 1997, p. 51).

Entretanto, não queremos dizer que a ontogênese repete a filogênese, ou que há uma correspondência estrita entre o curso histórico e o desenvolvimento da inteligência. A História da Ciência pode dar “indicativos” sobre o desenvolvimento individual, apontar para possíveis dificuldades e auxiliar professores e pesquisadores na difícil tarefa de ensinar e pesquisar sobre o processo ensino-aprendizagem de conceitos científicos. Segundo Monk e Osborne (1997, p. 412-3), a noção de que a ontogênese recapitula a filogênese não é corroborada por resultados de pesquisas sobre a evolução histórica de conceitos científicos.

A História da Ciência pode, também, promover uma melhor compreensão e contribuir para a aprendizagem dos conceitos científicos. Subjacente a este argumento, está a convicção de que um entendimento bem fundamentado é necessariamente histórico, que a melhor forma de se entender um conceito é por meio de sua construção histórica (MATTHEWS, 1994, p. 50-1). O estudo histórico permite a análise conceitual, que os conceitos possam ser revistos e ainda, revela como se deu a formulação de um conceito, apresenta as questões que foram respondidas pelo seu surgimento e evidencia as questões e os problemas que o originaram. Revela também, a função de um conceito dentro de determinada teoria, ou a função de uma teoria dentro de uma área do conhecimento e, permite ainda, reviver os elementos do pensar de um determinado momento histórico e assim revela a lógica da construção conceitual. (DIAS, 2001, p. 226-7; DIAS; SANTOS, 2003, p. 1616). Voltar às fontes é clarificar as idéias, ajudar a Ciência, em vez de paralisá-la; a abordagem histórica torna os conceitos e as teorias menos dogmáticos (LANGEVIN, 1992, p. 8-11).

Segundo Villani e colaboradores (1997, p. 44), para tornar algumas teorias inteligíveis para alunos de graduação (*e.g.*,¹ Teoria da Relatividade, Mecânica Quântica, etc.), é necessário complementar e enriquecer os processos de ensino usuais, indo além dos aspectos experimentais e matemáticos. Assim, os autores sugerem que se deve analisar historicamente a gênese e o desenvolvimento de teorias e conceitos, inserindo e privilegiando discussões detalhadas sobre os princípios científicos. Neste sentido, Martins (1988) apresenta um exemplo bastante interessante, de como o conhecimento histórico pode contribuir para o esclarecimento conceitual do fenômeno da produção de campo magnético no entorno de um fio percorrido por uma corrente elétrica. Dias e Santos (2003, p. 1615) relatam que licenciandos em Física têm reportado as dificuldades de seus alunos, seja em estágios ou já no exercício profissional, de assimilar conceitos abstratos da Física. Isso se deve à forma como são apresentados no ensino convencional. Mesmo os alunos de licenciatura têm dificuldade de compreender conceitos abstratos como os quânticos e relativísticos, apontando, desta forma, a necessidade da abordagem histórica. Além de auxiliar o professor a ensinar, o estudo histórico pode auxiliar o próprio professor a compreender melhor determinado assunto.

É importante destacar que alguns trabalhos têm apontado os perigos do mau uso da História da Ciência no Ensino de Ciências, tais como: distorção e simplificação dos fatos; apresentação linear

¹ *e.g.* – abreviação do latim de “*exempli gratia*” – “por exemplo”

i.e. – abreviação do latim de “*id est*” – “isto é”

e crescente da evolução da Ciência; mitificação dos cientistas e da Ciência; apresentação meramente cronológica, que leva a uma visão ingênua e falsa do trabalho científico (DIAS; MARTINS, 2004, p. 518). Muitas vezes, constroem-se “heróis” da Ciência, preconiza-se uma sucessão linear de eventos que culminou nos saberes hoje vigentes e na consagração destes saberes. Menospreza-se correntes científicas divergentes, a riqueza dos debates ocorridos no passado e as discontinuidades entre presente e passado, simplificando e distorcendo a realidade. (BASTOS, 1998, p. 39).

Convictos da validade do emprego da História da Ciência no ensino, um dos grandes problemas a ser enfrentado é: como fazê-lo? Desta forma, nos propomos, nesta pesquisa, a trabalhar com a inserção de textos históricos de fonte primária no ensino de Física em nível superior, tendo como fundamentação teórica a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. E assim, discutir as possíveis contribuições desta inserção para a aprendizagem de alguns conceitos científicos.

Dentre os problemas que o ensino apresenta, um deles é não ser capaz de proporcionar a aprendizagem significativa. Esta ocorre, como veremos detalhadamente no decorrer deste trabalho, quando um novo conceito adquire significado para o aprendiz na medida em que se apóia de forma não-literal e não-arbitrária em conhecimentos pré-existentes na sua estrutura cognitiva. Então, uma condição *sine qua non* para que haja a aprendizagem significativa é que o aluno tenha disponíveis, em sua estrutura cognitiva, informações relevantes, que sirvam de apoio para o novo assunto abordado, tais informações relevantes, Ausubel chama de *subsunções*.

Ausubel propõe uma estratégia para modificar a estrutura cognitiva do aluno e facilitar a aprendizagem significativa. Esta estratégia é a utilização de *organizadores prévios*, que consistem em materiais introdutórios mais gerais, inclusivos e abstratos que o material de aprendizagem – são ministrados aos estudantes antes do material de aprendizagem. Sua função é gerar condições cognitivas para a aprendizagem significativa.

Pesquisas recentes têm mostrado que a História da Física pode ser utilizada para prover elementos cognitivos que fundamentam a aquisição de novos conhecimentos científicos, estando de acordo com os pressupostos da Teoria de David Ausubel. A proposta de Magalhães et al. (2002) é que a História da Física se insere na abordagem de Ausubel, podendo ser utilizada como organizador prévio. Dias, Magalhães e colaboradores publicaram alguns trabalhos apontando a

eficácia desta proposta (MAGALHÃES et al., 2002; DIAS; SANTOS, 2003; DIAS et al., 2004; SILVA et al., 2003; SOUZA et al., 2003; SANTOS; DIAS, 2005). Elaboramos nossa pesquisa com base nestes trabalhos, entretanto, mudamos a metodologia, propomos a discussão de textos históricos em sala de aula, de forma que estas discussões sejam um *elemento fornecedor de subsunções*, não um organizador prévio. Isto ocorre porque, em nossa proposta, a discussão de textos históricos contém alguns elementos de um organizador, mas não tem todos os seus elementos essenciais. Por isso, não pode ser definida como um organizador prévio. Isto será melhor discutido no *Capítulo 2* deste trabalho.

As publicações mencionadas no parágrafo anterior foram lidas e estudadas por nós quando ainda fazíamos iniciação científica, momento em que desenvolvemos uma pesquisa sobre a História da Eletrostática do século XVIII. Os trabalhos publicados pela Professora Penha M. C. Dias e colaboradores despertaram nosso interesse para um fecundo campo da utilização da História da Física, *i.e.*, utilizá-la para prover subsídios para a aprendizagem significativa dos conceitos científicos. Mais do que despertar nosso interesse, estas pesquisas nos apontaram um sentido para caminhar, nos apresentaram a Teoria de David Ausubel e a sua pertinência para trabalhar com a História da Ciência no ensino dos conceitos científicos. O interesse em utilizar fontes primárias no ensino de Ciências vem do nosso trabalho de iniciação científica, pois este nos fez questionar: *como e de que forma fontes primárias poderiam auxiliar a aprendizagem e o entendimento dos conceitos físicos?* E foi em busca de uma resposta para esta pergunta que desenvolvemos esta pesquisa.

Para que a História da Ciência possa ser utilizada como recurso para o ensino e possa contribuir efetivamente, ela não pode ser retratada de forma “anedótica”, “caricata”, apenas cronológica ou ilustrativa. Ela deve ser retratada e utilizada de maneira que reporte os acontecimentos, os problemas enfrentados historicamente, a construção do conceito abordado, o contexto, etc. Sendo assim, um trabalho que visa à aplicação de elementos históricos no ensino não pode limitar a sua fundamentação em fontes duvidosas quanto à profundidade da pesquisa histórica, pois isto pode comprometer todo trabalho. Desta forma, esta pesquisa se fundamentou em fontes primárias do século XVIII traduzidas por nós, e em uma pesquisa sobre a história da eletrostática que desenvolvemos anteriormente. Não defendemos aqui que todo pesquisador e/ou professor que se proponha a trabalhar com História da Ciência e ensino se aventure em uma pesquisa histórica utilizando fontes primárias para realizar seu trabalho, mas que, no mínimo, utilize fontes de quem procedeu desta forma.

Neste trabalho, a História da Física é utilizada com o intuito de contribuir para a aprendizagem e compreensão dos conceitos científicos. Concordamos com a Professora Penha M. C. Dias: a Física não é *trivial* em sua essência, porém, o uso de um conceito, ao longo de vários anos e, até séculos, tende a *trivializar* o *não-trivial*, ou seja, dificuldades conceituais são banalizadas e conceitos são tratados como *óbvios*. Isso acaba deixando a desagradável sensação de que os conceitos são *mágicos*. (DIAS, 2001, p. 226). Desta forma, a característica da História da Física que a torna eficiente como fornecedor de subsunçores é sua capacidade de tornar inteligíveis as leis da Física, de explicitar o significado físico de uma lei ou de um conceito e de tornarem menos *mágicas* idéias tão pouco intuitivas e naturais (DIAS; SANTOS, 2003, p. 1617).

Assim, entendemos que a História da Ciência pode contribuir para melhorar a compreensão do conteúdo específico, ajudando a superar o “*mar de sem-sentido*” constituído de “fórmulas” e equações que os estudantes repetem sem compreender o seu significado real. (VANNUCCHI, 1996, p. 19). Como disse Ausubel, o ensino de Ciências e Matemática ainda se apóia demasiadamente, para não dizer somente, na aprendizagem mecânica de “fórmulas”, equações matemáticas, procedimentos, na resolução mecânica de problemas e na manipulação mecânica de símbolos. Com isto, ocorre uma ausência de idéias, informações e conhecimentos claros e estáveis que possam servir de subsunçores para a aprendizagem dos conteúdos escolares. Logo, não resta aos estudantes outra opção, além de decorar exercícios e expressões matemáticas para obterem êxito nas provas. (AUSUBEL et al., 1980, p. 160; AUSUBEL, 1960, p. 270). Os PCN’s ilustram a atualidade e a importância deste assunto, pois reportam que a Física, em nível Médio, é ensinada por meio da apresentação de conceitos, leis e “fórmulas” de maneira desarticulada e sem significado algum para o aprendiz. Utilizam-se as expressões matemáticas em situações artificiais de maneira que a linguagem matemática é desvinculada de seu significado físico. Preza-se pela resolução de problemas já bastante comuns nos livros, o que acaba levando somente a aprendizagem por memorização. (BRASIL, 2000, p. 22). Desta forma, o ensino configura-se como estritamente propedêutico, não preza pela compreensão conceitual e carece de sentido e significado.

Nesta pesquisa, promovemos discussões sobre textos históricos de fonte primária em sala de aula, em uma disciplina de Física Geral III² de uma licenciatura em Física. O objetivo foi verificar se estas discussões foram profícuas para promover a aquisição de subsunçores, pelos graduandos, para a aprendizagem significativa dos conceitos de carga elétrica, de eletrização e de materiais

² O conteúdo desta disciplina versa sobre os tópicos: Eletricidade, Magnetismo e Eletromagnetismo.

condutores e isolantes. No *Capítulo 4*, discutimos de que forma os subsunçores adquiridos podem ser utilizados em um momento subsequente, para subsidiar a aprendizagem significativa dos conceitos físicos. Ressaltamos que não cabe a este estudo verificar se houve ou não a aprendizagem significativa, mas se foi possível a aquisição de alguns subsunçores por meio da discussão de textos históricos.

Chamamos a atenção do leitor para alguns pontos importantes desta dissertação. O primeiro destaque é para a expressão *aquisição de conhecimentos relevantes (ou subsunçores)*, utilizada em todo o texto. Nosso objetivo foi verificar se, por meio das discussões de textos históricos, os alunos adquiriram conhecimentos relevantes para a aprendizagem significativa. Optamos por falar em *aquisição de conhecimentos* porque o nosso instrumento de coleta de dados, *i.e.*, questionários, não nos permite dizer se houve aprendizagem significativa ou não das idéias relevantes presentes nos textos. Apenas nos permite dizer se, no momento em que respondeu ao questionário, o aluno apresentou ou não determinada idéia, ou seja, se a adquiriu ou não. Se o aluno apresenta certa idéia ao responder ao questionário, não nos é possível dizer se houve aprendizagem significativa ou mecânica. O segundo destaque é para o termo *subsunçor*, conceito fundamental da teoria de Ausubel. Nesta dissertação, consideramos como subsunçores alguns conhecimentos presentes nos textos históricos que podem, quando adquiridos pelos alunos, servir de ancoragem para o material de aprendizagem ministrado posteriormente. Isto é, idéias relevantes, às quais o conteúdo ensinado poderá se ligar em um primeiro momento de aprendizagem. O terceiro destaque é para a expressão *conteúdo subsequente (ou material de aprendizagem)*. A nossa coleta de dados foi realizada em uma turma de graduação, e os textos históricos foram discutidos antes de o conteúdo de eletrostática ser ministrado pelo professor da disciplina. Os subsunçores que pretendíamos que os alunos adquirissem eram para subsidiar a aprendizagem dos conceitos de carga elétrica, de eletrização e de materiais condutores e isolantes ministrados após as discussões dos textos. Sendo assim, as nossas discussões nesta dissertação têm em vista este contexto e, quando apontamos em nosso trabalho de que forma um dado subsunçor (idéia ou conhecimento dos textos históricos) poderia auxiliar na *aprendizagem subsequente*, estamos nos referindo ao momento posterior à aplicação dos textos, *i.e.*, momento em que o professor ministrou o conteúdo da disciplina. Então, o conteúdo subsequente, para nós, é aquele ministrado pelo professor da disciplina após as discussões dos textos. E ele é subsequente porque é *posterior* ao texto histórico. A todo o momento, em nossas discussões, fazemos um contraponto entre as idéias relevantes dos textos históricos (subsunçores) e o conteúdo ministrado após os textos.

Também é importante destacar que o nosso trabalho com textos de fonte primária, no semestre em que a coleta de dados foi realizada, não se limitou apenas aos três textos apresentados nesta dissertação (Gray, Du Fay e Franklin). As fontes primárias foram introduzidas na disciplina de Física Geral III e discutidas com os alunos durante todo o semestre. Ao todo, foram discutidos 11 textos. Além dos três já mencionados, também foram trabalhados um texto de Weber, um de Maxwell, um de Coulomb, dois de Faraday, um de Oersted, um de Ampère e um de Biot e Savart. Destes oito textos, cinco foram traduzidos por nós ao longo do semestre, os outros três são traduções já publicadas. Ao todo, foram aplicados 9 questionários, sendo 2 sobre conhecimentos prévios e 7 sobre os textos históricos. Cada questionário tinha, em média, 12 questões.

Além das fontes primárias, discutidas na disciplina de Física Geral III, foram discutidos vários outros textos de fonte secundária na disciplina de História da Ciência, que ocorreu concomitantemente à de Física. Estes textos foram escolhidos e discutidos para auxiliar o trabalho com os textos de fonte primária. Procuramos, com esse trabalho, varrer todo o conteúdo de eletromagnetismo do curso de Física III. Durante todo o semestre nos ocupamos apenas com o trabalho de aplicação de textos nas disciplinas, pois a tradução de algumas fontes primárias, seu estudo sistemático, a escolha dos subsunçores a serem destacados em cada texto, a preparação das *aulas de discussão de textos* para a disciplina de Física III e para a disciplina de História da Ciência, bem como a elaboração dos questionários, foram atividades bastante trabalhosas. É importante destacar que as duas disciplinas foram organizadas de maneira concatenada pelos docentes e pelo mestrando. As aulas de Física III (referentes aos textos de fontes primárias) e as aulas da disciplina de História da Ciência, cujos textos (fontes secundárias) eram suportes às fontes primárias, foram ministradas pelo mestrando com o auxílio dos docentes. Inclusive, eles estavam presentes na sala de aula, auxiliando nas discussões. As outras aulas das disciplinas, que correspondiam ao conteúdo programático, foram ministradas pelos respectivos docentes, sendo que o mestrando acompanhou todas as aulas de cada disciplina durante todo o semestre.

Apesar do trabalho de um semestre com textos históricos, seria impossível analisar nesta dissertação mais do que fora proposto inicialmente no projeto. É preciso ter em mente as limitações de um trabalho de mestrado, principalmente no que tange ao tempo de execução do projeto. Propomo-nos a fazer o trabalho durante todo o semestre porque tínhamos certeza de que seria uma oportunidade ímpar, mas sempre estivemos cientes daquilo que seria de fato

trazido para esta dissertação. Com certeza, aqueles dados coletados e que não foram utilizados aqui serão analisados em outros trabalhos.

O *Capítulo 2* desta dissertação versa sobre o referencial teórico utilizado na pesquisa – Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel –, no qual apresentamos uma visão geral sobre esta teoria, focando principalmente nos pontos relevantes para nossa pesquisa. O *Capítulo 3* versa sobre a metodologia do trabalho, no qual discorremos sobre a pesquisa qualitativa, expomos as técnicas e instrumentos de pesquisa e como se deu a organização e o tratamento dos dados. O *Capítulo 4* versa sobre os resultados da pesquisa, no qual apresentamos as questões aplicadas aos alunos em dois questionários, as categorias extraídas dos dados brutos após o seu tratamento, a análise dos dados e as discussões. No *Capítulo 5* apresentamos as considerações finais sobre o trabalho.

2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

2.1 INTRODUÇÃO³

A teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel procura revelar de que forma o ser humano aprende e como a mente humana retém os conteúdos disciplinares ministrados em sala de aula, ou em ambientes de aprendizagem semelhantes. Na aprendizagem por recepção, o conteúdo a ser aprendido é apresentado em sua forma final, uma vez que não é função do aluno descobrir sozinho esse conteúdo. Ao aluno, cabe “apenas” o papel de compreender o *material de aprendizagem* (i.e., conteúdo a ser ensinado) de forma significativa e de interiorizá-lo de forma que esteja disponível para utilização futura. É importante destacar que, para a teoria em questão, a aprendizagem verbal significativa configura-se no principal meio para aumentar o armazenamento de conhecimentos do aprendiz, seja dentro ou fora do ambiente escolar. (AUSUBEL et al., 1980, p. 98; AUSUBEL, 2003, p. 21-2).

A instrução verbal expositiva foi, e ainda é, uma metodologia pedagógica bastante criticada por teóricos da educação. Em geral, os críticos atribuem a ela apenas a possibilidade da memorização de fatos isolados e arbitrários. Mas, para Ausubel, a aprendizagem por recepção verbal não é sinônimo de memorização, pelo contrário. Grande parte dos conteúdos escolares (e.g., conceitos e proposições) pode ser interiorizada pelos alunos de forma significativa, a partir da instrução verbal. (AUSUBEL, 2003, p. 46 e 49). As críticas à metodologia expositiva, em geral, não se atêm às suas características essenciais, mas sim aos seus piores abusos, tais como: i) o uso de técnicas puramente verbais em alunos cognitivamente imaturos; ii) a apresentação arbitrária de conteúdos não relacionados, sem qualquer organização ou princípios explicativos; iii) o fracasso em integrar novos conteúdos a assuntos já apresentados; e iv) a utilização de avaliações que objetivam aferir fatos discretos, ou que exige do aluno a reprodução das idéias com as mesmas palavras ou em contextos idênticos aos apresentados. (AUSUBEL et al., 1980, p. 99-100).

³ 3.1 – A referência (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) será referida neste trabalho como (AUSUBEL et al., 1980).

3.2 – A referência (AUSUBEL et al., 1980) é uma tradução brasileira. A referência (AUSUBEL, 2003) é uma tradução portuguesa, assim, há diferença nas traduções de alguns termos. Utilizaremos, neste trabalho, os termos que nos são mais convenientes, portanto, mesclamos termos de ambas as traduções.

Adquirir significados por meio da incorporação de novas idéias à estrutura cognitiva está longe de ser um fenômeno passivo. No entanto, o aluno precisa *querer aprender*, pois ele precisa refletir sobre o conteúdo, precisa voluntariamente integrar o novo material à sua estrutura cognitiva e reestruturá-la. Assim, a aprendizagem por recepção significativa não é uma simples catalogação de conceitos, é sim um processo extremamente ativo. Pois: i) exige análise sobre a relevância das idéias da estrutura cognitiva que irão ancorar o novo conteúdo; ii) exige a reconciliação do material de aprendizagem com aqueles conhecimentos que farão a ancoragem; iii) exige que as novas proposições sejam reformuladas ao serem incorporadas à estrutura cognitiva, de acordo com seu próprio arcabouço de conhecimentos, seu vocabulário e sua estrutura de idéias. (AUSUBEL et al., 1980, p. 102; AUSUBEL, 2003, p. 54-5).

A aprendizagem significativa depende da disponibilidade de idéias relevantes na estrutura cognitiva para ancorarem novos conhecimentos. Além da necessidade de significados integradores na estrutura cognitiva, é fundamental que o aprendiz reconheça o seu papel de sujeito ativo no processo de aprendizagem. Caso contrário, não será possível outra aprendizagem além da mecânica, pois: i) o aluno pode tentar relacionar o conteúdo ensinado pelo professor a todos os conhecimentos relevantes que possui na sua estrutura cognitiva, ou apenas relacioná-lo a um único conhecimento, ou nem relacioná-lo; ii) o aluno pode buscar expressar a nova proposição, ou conceito, em termos de seu próprio vocabulário, ou se satisfazer com a incorporação literal do que é apresentado; iii) pode se empenhar na aquisição de significados precisos e não-ambíguos, ou simplesmente se satisfazer com noções vagas e difusas. (AUSUBEL et al., 1980, p. 102-3; AUSUBEL, 2003, p. 55). Os contrapontos destacados neste parágrafo evidenciam bem a necessidade de autocrítica do aluno para que haja aprendizagem significativa por meio de uma forma ativa de aprendizagem por recepção.

O objetivo e a finalidade da aprendizagem significativa é a aquisição de significados. Ela ocorre quando o material de aprendizagem é relacionado à idéias *relevantes, claras e estáveis*⁴ da estrutura cognitiva, de forma *não-arbitrária e não-literal*. As idéias e conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno e que são relevantes para a ancoragem inicial, de determinado conteúdo, são denominados *subsunçores*. A aprendizagem *por memorização* – também chamada de *automática* – pode ocorrer quando uma nova informação aprendida se relaciona com a estrutura cognitiva de forma arbitrária. Isto ocorre quando o aluno não tem, em sua rede de conhecimentos, uma idéia

⁴ “A estabilidade das idéias ancoradas refere-se à manutenção da disponibilidade das mesmas ao longo do tempo (longevidade) e a clareza ao grau e explicação, lucidez e ausência de imprecisão e de ambigüidade” (AUSUBEL, 2003, p. 161).

relevante necessária para a nova informação se relacionar de forma não-arbitrária e não-literal. Ou ainda, quando há subsunçores, mas não são utilizados na aprendizagem, porque o aluno adota uma estratégia para internalizar o novo conhecimento de forma meramente arbitrária. Isto ressalta a importância da autocrítica do aluno para a ocorrência da aprendizagem. Se ele estiver disposto a apenas decorar ou memorizar *ipsis litteris* o novo conteúdo, a relação que se estabelecerá entre ele e a estrutura cognitiva será arbitrária, não havendo aprendizagem significativa. (AUSUBEL et al., 1980, p. 23; AUSUBEL, 2003, p. 71-2; PONTES-NETO, 2006, p. 118).

É importante sublinhar que a aprendizagem escolar não prescinde da aprendizagem por memorização, uma vez que parte do conteúdo exige este nível de aprendizagem por ser arbitrário. É o caso, por exemplo, de símbolos e letras na leitura, vocabulários de língua estrangeira, nomes de conceitos e objetos particulares, símbolos utilizados para representar elementos químicos, entre outros. No entanto, tal aprendizagem constitui apenas uma ínfima parte daqueles conteúdos que compõem o currículo. (AUSUBEL et al., 1980, p. 23).

Também é importante destacar que, para Ausubel, teorias de aprendizagem, por si só, não resolvem o problema do ensino. É preciso também descobrir novos meios para motivar adequadamente nossos alunos e ensinar o conteúdo de forma efetiva. (AUSUBEL et al., 1980, p. 28). Esta discussão não fará parte de nosso trabalho, entretanto, é importante que o leitor saiba desta preocupação da Teoria e saiba também que há, nos livros de David Ausubel, discussões sobre o tema.

2.2 O SIGNIFICADO E A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

2.2.1 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Segundo Ausubel (2003), “a aprendizagem é o processo de aquisição de novos significados reais, a partir dos significados potenciais apresentados no material de aprendizagem e de torná-los mais disponíveis” (AUSUBEL, 2003, p. 113). A essência do processo de aprendizagem significativa consiste em relacionar, de forma não-arbitrária e não-literal, o material de aprendizagem com os

subsunçores que o aprendiz tem em sua estrutura cognitiva, e que o produto desta interação ativa e integradora seja um novo significado. (AUSUBEL et al., 1980, p. 23; AUSUBEL, 2003, p. 71-2).

Desta forma, a aprendizagem significativa pressupõe dois fatores principais: i) que o aluno esteja disposto a *relacionar de forma não-arbitrária e não-literal* o novo material de aprendizagem aos subsunçores; e ii) que o material a ser aprendido seja *potencialmente significativo*, ou seja, que tenha possibilidade de ser incorporado à estrutura cognitiva do aprendiz por meio de uma relação não-arbitrária e não-literal⁵ (AUSUBEL et al., 1980, p. 34). Tais fatores não são contemplados quando ocorre a memorização automática de definições, conceitos ou proposições sem que haja a compreensão do significado das palavras que os compõem, ou da relação expressa por tais palavras. Por exemplo, um aluno pode aprender a *lei de Ohm*, que afirma que a diferença de potencial (V) é diretamente proporcional à corrente elétrica (i) em um circuito⁶. Entretanto, esta proposição não será aprendida significativamente a menos que o estudante saiba previamente o significado dos conceitos de corrente elétrica, diferença de potencial, resistência elétrica e o conceito de direta e inversamente proporcional, e a menos que tente relacionar estes conceitos como estão expressos na lei de Ohm. Ou seja, esteja disposto a aprender. (AUSUBEL et al., 1980, p. 35).

2.2.2 SIGNIFICAÇÃO POTENCIAL E O SIGNIFICADO PSICOLÓGICO

Apontamos anteriormente que a aprendizagem significativa pressupõe dois fatores principais, sendo que um deles é a necessidade de o material de aprendizagem ser *potencialmente significativo*. Chamamos a atenção do leitor para a importância deste conceito dentro da teoria em questão. Para que a tarefa de aprendizagem seja potencialmente significativa, ela depende de dois elementos principais: i) a natureza da própria tarefa de aprendizagem (aquilo que está por ser aprendido), e ii) a natureza da estrutura cognitiva do aluno em *particular* (ver o *Quadro 1* e observar principalmente os itens B e C). (AUSUBEL et al., 1980, p. 36; AUSUBEL, 2003, p. 73).

⁵ No próximo item definiremos com maiores detalhes a *significação potencial*.

⁶ $V = iR$ - R é resistência elétrica. É importante ressaltar que esta equação define a resistência R para qualquer condutor que obedeça, ou não, à lei de Ohm. Porém, *apenas* nos casos em que R é constante, esta relação pode ser chamada de lei de Ohm, *i.e.*, a lei de Ohm consiste na indicação de uma proporcionalidade direta (para alguns materiais) da diferença de potencial (V) com a corrente (i) (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p. 139).

A natureza da própria tarefa de aprendizagem – primeiro elemento – deve ser suficientemente não-arbitrária (*i.e.*, não-aleatória e plausível). Isto significa que ela deve permitir a relação não-arbitrária e não-literal com informações relevantes que estejam no âmbito daquilo que os seres humanos são capazes de aprender, *i.e.*, que o conteúdo seja passivo de se relacionar a um determinado conteúdo ideacional. Esta propriedade da tarefa de aprendizagem significativa, que determina se ela é potencialmente significativa ou não, denomina-se *significado lógico*⁷. (AUSUBEL et al., 1980, p. 36; AUSUBEL, 2003, p. 73).

O segundo elemento que determina o potencial significativo da tarefa de aprendizagem é a estrutura cognitiva de cada aluno. A aquisição de significados ocorre em cada indivíduo, ela é idiossincrática. Portanto, para que ocorra, de fato, a aprendizagem significativa é necessário que cada aluno tenha, em sua estrutura cognitiva, os subsunçores necessários para a ancoragem do novo conteúdo.⁸ (AUSUBEL et al., 1980, p. 37; AUSUBEL, 2003, p. 74).

É importante destacar que o material de aprendizagem é *apenas potencialmente significativo*, pois quem dá o significado é o sujeito. Se o material de aprendizagem fosse significativo, o objetivo do processo de aprendizagem significativa seria alcançado antes mesmo de começar. Isto ocorre porque o *significado* é um produto da interação entre o material de aprendizagem e as idéias relevantes da estrutura cognitiva. (AUSUBEL, 2003, p. 74).

Este significado a que nos referimos é denominado de *significado psicológico* – também chamado de *real* ou *verdadeiro*. É uma experiência cognitiva totalmente idiossincrática, surge quando o significado potencial se transforma em conteúdo cognitivo novo, diferenciado em um indivíduo particular. É um resultado da interação e da relação não-arbitrária e não-literal do material de aprendizagem logicamente significativo, com idéias relevantes da estrutura cognitiva do aluno. (AUSUBEL et al., 1980, p. 41-2; AUSUBEL, 1968, p. 44-5; AUSUBEL, 2003, p. 78).

Em seguida, apresentamos o *Quadro 1*, que mostra as relações entre i) aprendizagem significativa, ii) potencial significativo, iii) significado lógico e iv) significado psicológico. Este quadro é uma síntese daquilo que foi apresentado até aqui, e as relações expressas nele são fundamentais para a compreensão da Teoria da Aprendizagem Significativa.

⁷ O emprego do termo *lógico* para designar um tipo de significado inerente ao conhecimento adquirido tem um sentido restrito, portanto, não é o mesmo empregado na filosofia. (AUSUBEL et al., 1980, p. 36).

⁸ O potencial significativo do material de aprendizagem varia também com relação à fatores como idade, ocupação, condições sócio-culturais, e não apenas com relação à experiência educacional do aluno. (AUSUBEL et al., 1980, p. 37). Sendo assim, o mesmo material pode apresentar potencial significativo diferente para alunos diferentes.

Quadro 1 – Relações entre Aprendizagem Significativa, Potencial Significativo, Significado Lógico e Significado Psicológico

(A) Aprendizagem Significativa ou Aquisição de Significados	requer	(1) Material Potencialmente Significativo	e	(2) Disposição para a Aprendizagem Significativa
(B) Potencial Significativo	depende do(a)	(1) <i>Significado Lógico</i> – (a relação não-arbitrária e não-literal do material de aprendizagem com as idéias correspondentemente relevantes que se encontram dentro do domínio da capacidade intelectual humana.)	e	(2) A disponibilidade de tais idéias relevantes na estrutura cognitiva de um <i>particular</i> aluno
(C) Significado Psicológico (Significado Real Idiossincrático)	é o produto da	Aprendizagem Significativa	ou do	Potencial Significativo e da Disposição para a Aprendizagem Significativa

Fonte: (AUSUBEL et al., 1980, p. 35; AUSUBEL, 2003, p. 73).

2.2.3 RELAÇÕES NÃO-ARBITRÁRIAS E NÃO-LITERAIS

A relação *não-arbitrária* implica que o conteúdo de aprendizagem seja internalizado pelo aprendiz de forma não-aleatória, ou seja, devem existir idéias específicas e relevantes na estrutura cognitiva para que o novo conteúdo possa se ligar. O aluno deve estabelecer a relação entre o subsunçor e o material de aprendizagem. Um material de aprendizagem logicamente significativo pode se relacionar, de forma não-arbitrária, a idéias especificamente relevantes, tais como: casos especiais, situações derivadas, extensões, modificações, qualificações, generalizações mais inclusivas. Também poderia se relacionar a um conjunto mais amplo de idéias relevantes, como por exemplo, dados sobre temperatura média das zonas urbanas relacionam-se significativamente com o conceito de clima, de irradiação solar, posição orbital da Terra, entre outros, em um encadeamento coerente. (AUSUBEL et al., 1980, p. 37; AUSUBEL, 2003, p. 75).

A relação *não-litera* implica que, para um material de aprendizagem suficientemente não-arbitrário, um símbolo, ou um grupo de símbolos equivalentes (*i.e.*, sinônimos), se relacionem à estrutura cognitiva do aprendiz, sem alterar o seu significado de forma expressiva. Por exemplo, as palavras “dog”, “hund” e “chien” remetem ao mesmo significado que “cachorro” para quem tem certo domínio no Inglês, Alemão e Francês. Para uma pessoa com certo conhecimento de matemática, os símbolos $\frac{1}{2}$ e 0,5 têm o mesmo significado. Desta forma, a aprendizagem significativa não depende do uso exclusivo de representações particulares (como palavras ou signos), portanto, uma proposição ou um conceito podem ser expressos por termos sinônimos e remeter ao mesmo significado. (AUSUBEL et al., 1980, p. 37-8; AUSUBEL, 2003, p. 75).

2.2.4 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E APRENDIZAGEM DE MATERIAL POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO

A aprendizagem significativa não é a aprendizagem de *material significativo*. Refere-se a um processo e não à natureza, ou às características, do material. Mesmo porque, o material de aprendizagem pode ser apenas *potencialmente significativo*, pois se o material fosse *significativo* o objetivo da aprendizagem significativa, que é a aquisição de significados, seria atingido antes de ocorrer a aprendizagem. O significado passa a existir na medida em que o *material potencialmente significativo* adentra a estrutura cognitiva do indivíduo e interage com ela. Na maioria das tarefas de aprendizagem potencialmente significativas, as partes componentes do material (palavras) são significativas, mas a tarefa, como um todo, é apenas *potencialmente significativa*. (AUSUBEL et al., 1980, p. 42; AUSUBEL, 2003, p. 78-9). Por exemplo, no aprendizado da lei de Coulomb⁹ o aluno já possui o significado das suas partes componentes (*i.e.*, força, carga elétrica, distância, conceito de diretamente e inversamente proporcional e de constante de proporcionalidade). Elas são significativas para ele, mas a tarefa, como um todo (compreender a lei de Coulomb), está por ser realizada e, portanto, o material (conteúdo) lei de Coulomb não é significativo para o aluno. É apenas *potencialmente significativo*.

⁹ $\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$; $\vec{F}$ é a força elétrica entre duas cargas elétricas puntiformes, q_1 e q_2 são as cargas elétricas, $\vec{r}$ é a distância entre as cargas, $\hat{r}$ é o versor da direção $\vec{r}$ e K é uma constante de proporcionalidade, cujo valor numérico depende do sistema de unidades utilizado – no Sistema Internacional de Unidades (SI) $K \approx 8,988 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$.

2.3 TIPOS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A teoria de Ausubel prevê três tipos de aprendizagem significativa: i) representacional; ii) de conceitos; e iii) de proposições. O tipo mais fundamental de aprendizagem é a *aprendizagem representacional*, que se refere ao significado de símbolos individuais (em geral palavras, mas também símbolos algébricos e químicos, figuras geométricas, etc.). Os outros tipos de aprendizagem significativa dependem da aprendizagem representacional. Ela é co-existente ao processo em que as palavras começam a representar objetos ou idéias correspondentes. Por exemplo, as palavras começam a significar o mesmo que o referente significa. (AUSUBEL et al., 1980, p. 39; AUSUBEL, 2003, p. 84).

Outro tipo de aprendizagem significativa é a *aprendizagem conceitual*. Conceitos (idéias unitárias genéricas ou categóricas) também são representados por símbolos individuais. A maioria das palavras individuais e que não são nomes próprios, combinadas em forma de frases para constituírem proposições, representa conceitos. Aprender o conceito representado por um determinado significante (*e.g.*, palavra), ou aprender que um significante tem o mesmo significado de determinado conceito, é o tipo mais complexo de aprendizagem *representacional*. Geralmente, esta aprendizagem vem após a formação do conceito, uma vez que é conveniente representar um conceito recém adquirido a partir de uma única palavra que seja equivalente a ele em significado. Porém, aprender o que um *conceito propriamente dito* significa implica um tipo bem diferente de aprendizagem significativa, pois consiste na aprendizagem dos atributos essenciais, não sendo apenas representacional. (AUSUBEL et al., 1980, p. 40; AUSUBEL, 2003, p. 84).

A *aprendizagem proposicional*, por sua vez, implica na aprendizagem do significado de idéias expressas por grupos de palavras combinadas e expressas em proposições ou frases. Aqui, a tarefa de aprendizagem significativa não se resume à aprendizagem do que as palavras significam isoladamente ou combinadas. É aprender o significado de idéias expressas em proposições. O significado de uma proposição não é apenas a soma do significado das palavras (conceitos) que a compõe, mas sim a idéia que aquele conjunto de palavras expressa como um todo. Entretanto, para que o aluno possa aprender o significado de uma proposição verbal, é necessário que se tenha aprendido o significado dos seus termos componentes, ou o que estes representam. Desta forma, a aprendizagem representacional e conceitual são pré-requisitos para aprendizagem proposicional, quando as proposições são expressas verbalmente. Por exemplo, a lei de Ohm é

uma proposição que só poderá ser compreendida significativamente após o aprendizado dos significados das partes componentes da proposição (*i.e.*, conceitos de corrente elétrica, diferença de potencial, resistência elétrica e direta e inversamente proporcional). O aluno pode decorar o que diz a lei de Ohm, ou seja, que a diferença de potencial é igual à resistência multiplicada pela corrente no circuito, mas esta proposição só poderá ser aprendida de forma significativa se ele já tiver compreendido os conceitos dos elementos componentes com um grau suficiente de estabilidade e clareza.¹⁰ (AUSUBEL et al., 1980, p. 40-1; AUSUBEL, 2003, p. 84-5).

As aprendizagens conceitual e proposicional são diferentes. Na primeira, quando os atributos essenciais de um novo conceito se relacionam com idéias relevantes da estrutura cognitiva, o resultado é um novo significado genérico, porém unitário. Na aprendizagem proposicional, porém, quando uma nova proposição (idéia composta) é incorporada pela estrutura cognitiva, o resultado é um novo significado composto. Ambas são diferentes da aprendizagem representacional, embora esta acompanhe a formação de conceitos, na medida em que um novo conceito tem o mesmo significado que o significante (*e.g.*, símbolo, palavra) que o representa. (AUSUBEL et al., 1980, p. 40; AUSUBEL, 2003, p. 85).

2.3.1 A INTERAÇÃO DE NOVAS INFORMAÇÕES COM IDÉIAS EXISTENTES

Na aprendizagem significativa, a interação entre o material de aprendizagem e as idéias subsunçoras não é um mero elo simples. É uma relação mais “forte”, sendo que, tanto a nova informação quanto aquela que o aluno já possui (subsunçor) se modificam no processo de aprendizagem. (AUSUBEL et al., 1980, p. 48; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 13).

Na aprendizagem por memorização, o novo conhecimento não é adquirido em um vácuo cognitivo. Contudo, a sua relação com a estrutura cognitiva é arbitrária e literal, o que implica na não-aquisição de novos significados. Em outras palavras, quando o novo conhecimento “entra” na rede de conhecimentos do aprendiz ele não interage, efetivamente, com as idéias já

¹⁰ Ausubel não estabelece a distinção entre aprendizagem significativa e mecânica (por memorização) como sendo uma dicotomia, mas sim como um *contínuo*. E em termos desse contínuo (aprendizagem automática → aprendizagem significativa), a aprendizagem representacional aproxima-se, geralmente, da forma automática, e as aprendizagens conceitual e proporcional podem atingir formas mais complexas da aprendizagem significativa. (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 09; AUSUBEL et al., 1980, p. 41).

armazenadas lá, ficando assim, distribuído de forma arbitrária e aleatória na estrutura cognitiva do aluno. Podemos citar como exemplo a simples memorização de “fórmulas”, expressões matemáticas, leis e conceitos em Física. (AUSUBEL et al., 1980, p. 38; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 09).

A teoria de Ausubel explicita algumas formas de como o novo conteúdo pode se relacionar à estrutura cognitiva do aluno. Sendo assim, há outros três importantes conceitos nesta teoria: i) aprendizagem subordinativa; ii) aprendizagem superordenada; e iii) aprendizagem combinatória. Vamos detalhar cada uma delas.

2.3.2 APRENDIZAGEM SUBORDINATIVA (OU SUBSUNÇÃO)

Ausubel assume que o sistema psicológico humano (mecanismo de transformação e armazenamento de informações) se organiza de forma hierárquica, tal como uma pirâmide. Os conceitos mais inclusivos, mais gerais e mais abstratos ocupam uma posição no topo da pirâmide, e estes subsumem, de forma progressiva e descendente, as idéias mais diferenciadas. Assim, para que a aprendizagem possa ocorrer de maneira mais eficaz, é preciso que conceitos ou proposições adequadamente relevantes e *mais inclusivos* estejam disponíveis na estrutura cognitiva, desempenhando um papel de subsunção e fornecendo ancoragem ideal às idéias subordinadas. (AUSUBEL, 2003, p. 44).

Tanto na aprendizagem conceitual como na proposicional, o material de aprendizagem potencialmente significativo ancora-se (relaciona-se), com maior frequência, à idéias relevantes mais gerais e mais inclusivas da estrutura cognitiva do aprendiz – chamadas de *subordinantes*. O processo de relacionar novas idéias a elementos subordinantes da estrutura de conhecimentos denomina-se *subsunção*. (AUSUBEL et al., 1980, p. 49; AUSUBEL, 2003, p. 93-4). A teoria propõe dois tipos distintos de aprendizagem subordinativa: *subordinação derivativa* e *subordinação correlativa*.

A subsunção ou subordinação *derivativa* ocorre quando o material de aprendizagem é um exemplo específico de um conceito ou proposição já estabelecida na estrutura cognitiva. Ou então, quando o material de aprendizagem corrobora, ilustra, sustenta um conceito ou proposição geral aprendida anteriormente. O significado do material derivativo surge rapidamente e *relativamente*

sem esforço, mas tende a ser rapidamente esquecido, porque pode ser representado adequadamente pelo subsunçor. (AUSUBEL et al., 1980, p. 49; AUSUBEL, 2003, p. 94; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 19). Para exemplificar, supomos que um aluno já adquiriu o conceito de força elétrica (lei de Coulomb). Então, lhe é apresentada a explicação de que o funcionamento de um eletroscópio qualquer pode ser feita por meio da lei de força elétrica. Isto é, a explicação do fenômeno particular de um eletroscópio é um exemplo específico de um conceito que o aluno já domina (a lei Coulomb).

A subsunção *correlativa* ocorre quando o material de aprendizagem é uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de conceitos e proposições já estabelecidos na estrutura cognitiva. A nova idéia pode interagir com subsunçores relevantes e mais inclusivos da estrutura cognitiva e ser ligada a eles. Porém, seu significado não está implícito e nem pode ser representado adequadamente por estes subsunçores. Neste caso, há uma tendência ao esquecimento se os subsunçores forem instáveis, pouco claros ou insuficientemente relevantes. Em geral, novos conhecimentos são apreendidos pelo processo de subordinação correlativa. (AUSUBEL et al., 1980, p. 49; AUSUBEL, 2003, p. 94; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 19). Para exemplificar, supomos que o aluno do exemplo anterior, em um determinado momento, entra em contato com o conceito de *força magnética sobre uma partícula carregada*¹¹. Ele já tem uma idéia geral do conceito de força, bem como outros conceitos qualificadores desta idéia geral, *e.g.*, força gravitacional, força de atrito, força elétrica. Mas a força magnética é uma nova qualificação e extensão do conceito de força (subsunçor) deste aluno, e o novo material de aprendizagem não está implícito, e nem pode ser representado pelos conceitos subsunçores.

2.3.3 APRENDIZAGEM SUPERORDENADA E APRENDIZAGEM COMBINATÓRIA

A aprendizagem *superordenada* ocorre quando um indivíduo aprende um conceito, ou proposição mais geral, ou mais inclusiva que algumas idéias relevantes já estabelecidas em sua estrutura cognitiva. As idéias presentes na estrutura cognitiva podem se subordinar àquilo que está sendo aprendido. A aquisição de significados subordinantes ocorre mais comumente na aprendizagem

¹¹ $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$; $\vec{F}$ é a força magnética sobre uma carga em movimento, q é carga, $\vec{v}$ é a velocidade da carga, e $\vec{B}$ é o campo magnético em que a carga está imersa.

conceitual do que na aprendizagem proposicional. Por exemplo, quando um aluno aprende que os conceitos de cenoura, ervilha, beterraba e espinafre podem ser agrupados sob um termo novo, vegetal. Ou ainda, quando se aprende que os conceitos de cão, gato e leão são subordinados ao conceito de mamífero. (AUSUBEL et al., 1980, p.49-51; AUSUBEL, 2003, p. 94-5; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 20).

Um outro exemplo sobre aprendizagem superordenada pode ser dado. Supomos que o aluno dos exemplos anteriores continue seu curso de Física Geral III. Durante o curso, este aluno estudou campo elétrico e campo magnético, bem como vários aspectos destes campos. Estudou também que, quando um campo elétrico ou um campo magnético varia com o tempo, ocorre uma indução do outro campo na região do espaço adjacente ao campo que está variando. Então, em um determinado momento, o professor apresenta ao aluno a possibilidade da ocorrência de uma perturbação eletromagnética constituída por campos elétrico e magnético variando com o tempo. O professor explica, ainda, que esta perturbação pode se propagar de uma região do espaço para outra, mesmo quando não existe nenhuma matéria entre essas regiões. E diz mais. Segundo o professor, se tal perturbação existir, deve apresentar características de uma onda. Logo, chamá-la de *onda eletromagnética* é bastante apropriado. Note que o aluno possuía vários conceitos e, em um determinado momento, eles são unidos, relacionados, por meio de um conceito mais geral, mas abstrato, e mais inclusivo – conceito de onda eletromagnética. Ou seja, os conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva (menos inclusivos) são subordinados a um conceito subordinador (mais inclusivo).¹²

A aprendizagem *combinatória* ocorre quando o material de aprendizagem não apresenta nenhuma relação subordinativa e nem superordenada com idéias relevantes da estrutura cognitiva. Ou seja, o material não é subordinado a conceitos ou proposições mais inclusivas e nem pode subordinar conceitos ou proposições menos inclusivos. Sendo assim, originam significados combinatórios, que consistem em novas combinações de idéias aprendidas anteriormente. Muitas das generalizações que os alunos aprendem na escola são exemplos de aprendizagem combinatória, tais como: relações entre massa e energia; temperatura e volume; estrutura genética e variabilidade fenotípica; procura e preço. Embora adquiridas com maior dificuldade, apresentam, quando estabelecidas adequadamente, a mesma estabilidade inerente a qualquer idéia inclusiva ou subordinante. (AUSUBEL et al., 1980, p. 50; AUSUBEL, 2003, p. 95).

¹² As informações físicas deste parágrafo foram extraídas da referência (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p. 355).

Tendo em vista que, presumivelmente, as proposições e conceitos podem ser aprendidos e retidos mais facilmente quando agrupados à idéias relevantes, e uma vez que a organização hierárquica da estrutura cognitiva reflete, por si só, o caráter subordinativo, parece razoável sugerir que o modo subordinativo da aprendizagem significativa deve ser utilizado sempre que possível, para fins de aprendizagem. (AUSUBEL et al., 1980, p. 50; AUSUBEL, 2003, p. 95).

2.4 TEORIA DA ASSIMILAÇÃO

Ausubel propõe uma teoria para explicar como se dá a aquisição da nova informação, ou seja, para explicar de que forma o novo conteúdo se relaciona aos subsunçores estabelecidos na estrutura cognitiva. O resultado da interação do novo material com as idéias relevantes da estrutura cognitiva é a *assimilação* dos significados velhos e novos, dando origem a uma estrutura mais altamente diferenciada. (AUSUBEL et al., 1980, p. 57-8). O *princípio da assimilação* torna mais claro, evidente e preciso o processo de aquisição e organização de significados na estrutura cognitiva. A assimilação auxilia a explicar como o conhecimento é organizado na estrutura cognitiva. (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 16).

Quando uma nova idéia (**a**), potencialmente significativa, é aprendida por meio da relação com uma outra (**A**), já estabelecida na estrutura cognitiva. Ambas são alteradas e a idéia (**a**) assimila-se à idéia (**A**). Este, em geral, é um caso de subsunção derivativa ou correlativa, e ambas são alteradas na formação do produto interativo (**a'A'**). Por exemplo, um aluno possui o conceito de campo (**A**) na sua estrutura cognitiva, ao entrar em contato com o conceito de campo magnético (**a**), o conceito de campo será ligeiramente alterado (**A'**), além de produzir um novo significado idiossincrático para campo magnético (**a'**). O princípio da assimilação pode ser representado simbolicamente da seguinte maneira:

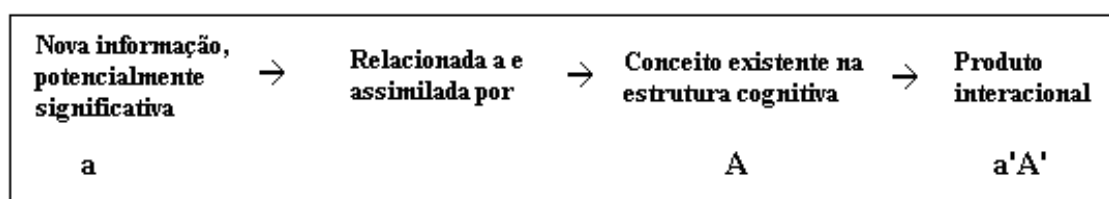


Figura 1 – Representação simbólica do princípio da assimilação (AUSUBEL et al., 1980, p. 105; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 16).

O âmago da teoria da assimilação é a idéia de que novos significados são adquiridos quando há interação de novos conhecimentos potencialmente significativos, com proposições e conceitos já estabelecidos na estrutura cognitiva. (AUSUBEL, 2003, p. 106). Por exemplo, um aluno que já tem o conceito de *força* (**A**) bem estabelecido em sua estrutura cognitiva deve aprender o conceito de *força nuclear* (**a**), que será assimilado pelo conceito mais inclusivo de força. A força nuclear é de curto alcance (em relação a outras de longo alcance). Então, no processo assimilativo, não só haverá aquisição do significado do conceito de força nuclear (**a'**), como o conceito mais geral de força – subsunçor (**A**) – será modificado tornando-se mais inclusivo (**A'**), *i.e.*, o conceito de força que o aluno possui incluirá também forças de curto alcance. (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 16).

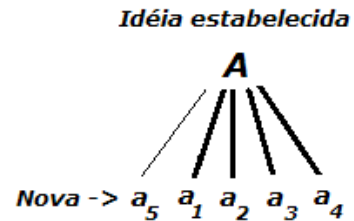
Chamamos a atenção para dois processos importantes que ocorrem na assimilação. O primeiro é a *diferenciação progressiva*, que ocorre na medida em que se dá a assimilação sequencial de novos significados, a partir de sucessivas exposições a novos materiais potencialmente significativos. As idéias mais gerais da estrutura cognitiva são diferenciadas em termos de seus elementos menos gerais. O segundo é a *reconciliação integradora*, processo pelo qual é possível resolver problemas de aquisição de significados conflituosos, seja ele adquirido por subsunção subordinante ou combinatória. É possível, por meio dela, relacionar idéias da estrutura cognitiva e promover uma interação que resulte em novos significados. (AUSUBEL, 2003, p. 106). Estes conceitos serão apresentados detalhadamente a seguir.

A seguir, apresentamos o *Quadro 2*, que expressa as formas de aprendizagem significativa, segundo a teoria da assimilação. Neste quadro, são apresentados esquemas pictóricos que representam as diferentes formas de aprendizagem significativa.

Quadro 2 – Formas de Aprendizagem Significativa Segundo a Teoria da Assimilação

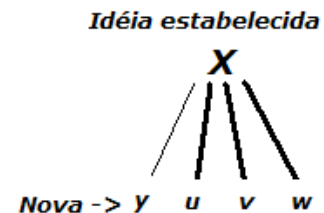
1. Aprendizagem Subordinativa:

A. Subordinação derivativa



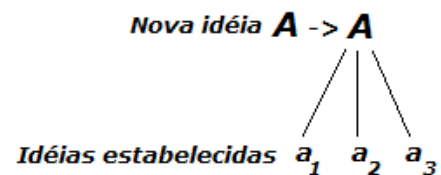
Na aprendizagem subordinativa derivativa, a informação nova a_5 está ligada à idéia superordenada A e representa um outro exemplo, ou extensão de A . Os atributos essenciais do conceito A não sofreram alterações, mas os novos exemplos são considerados relevantes.

B. Subordinação correlativa



Na aprendizagem subordinativa correlativa, a nova informação y está ligada à idéia X , mas é uma extensão, modificação ou qualificação de X . Os atributos essenciais do conceito subordinado podem ser ampliados ou modificados com a nova subordinação correlativa.¹³

2. Aprendizagem Superordenada:



Na aprendizagem superordenada, as idéias estabelecidas a_1 , a_2 e a_3 são consideradas exemplos mais específicos da nova idéia A e passam a associar-se a A . A idéia superordenada A é definida por um novo conjunto de atributos essenciais, que abrange as idéias subordinativas.

3. Aprendizagem Combinatória:

Nova idéia A -> B - C - D

Idéias estabelecidas

Na aprendizagem combinatória, a nova idéia A é vista como relacionada às idéias existentes B , C e D , mas não é mais abrangente, nem mais específica do que as idéias B , C e D . Neste caso, considera-se que a nova idéia A tem alguns atributos essenciais em comum com aquelas preexistentes.

4. Teoria da Assimilação:

A nova informação está relacionada aos aspectos *relevantes*, *preexistentes* da estrutura cognitiva e tanto a nova informação como a estrutura preexistente são modificadas no processo. Grande parte da aprendizagem significativa é essencialmente a assimilação da nova informação.

Fonte: (AUSUBEL et al., 1980, p. 57; AUSUBEL, 2003, p. 111).

¹³ Chamamos a atenção do leitor para o fato de que na referência Ausubel et al. (1980, p. 57) há um pequeno equívoco neste item, pois o livro diz: “... y está ligada à idéia X , mas **não é** uma extensão, modificação ou qualificação de X ”. Mas, na página 49 do mesmo livro, está escrito sobre a aprendizagem subordinativa correlativa: “O novo conteúdo, neste caso, é uma extensão, elaboração, modificação ou qualificação de proposições adquiridas anteriormente”. Para não restar qualquer dúvida quanto a isto, a referência Ausubel (2003, p. 111) traz o mesmo quadro dizendo que y é uma extensão, modificação ou qualificação, e à página 94 deste livro está escrito o mesmo. Portanto, o “não” que aparece à página 57 de Ausubel et al. (1980) está posto de forma equivocada.

2.4.1 O LIMIAR DE DISPONIBILIDADE

Para que os conteúdos assimilados possam ser lembrados posteriormente, a sua força de dissociabilidade deve exceder um determinado valor crítico – denominado *limiar de disponibilidade*. Uma vez que esta força esteja abaixo do limiar de disponibilidade, a idéia aprendida fica mais vulnerável ao esquecimento. A principal causa da não disponibilidade de idéias aprendidas significativamente é um rebaixamento na força dissociativa abaixo do nível do limiar. Entretanto, um determinado conhecimento pode ter força dissociativa suficiente para exceder o limiar padrão, mas acaba ficando indisponível devido a uma elevação temporária do limiar de disponibilidade. As razões mais comuns para este aumento transitório no limiar são: i) choque de aprendizagem inicial; ii) competição de memórias alternativas ou conflituosas; e iii) predisposição de atitude negativa ou de motivação para não lembrar. A eliminação destes fatores resulta em uma aparente facilitação da memória. Além disso, ocorre resistência à aprendizagem e confusão cognitiva generalizada quando se introduzem, pela primeira vez, novas idéias não-familiares na estrutura cognitiva. Mas esta resistência e confusão se dissipam na medida em que novas idéias se tornem mais familiares aos alunos. (AUSUBEL et al., 1980, p. 117-8; AUSUBEL, 2003, p. 117-8).

2.4.2 A DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA E A RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA

Na aprendizagem significativa ocorrem dois processos bastante relevantes: a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integradora*. Quando uma nova idéia é assimilada a um conceito ou proposição mais inclusiva, este subsunçor sofre modificações. Na medida em que este processo ocorre, origina-se a *diferenciação progressiva* do conceito ou proposição, que passam a englobar novas informações. Assim, grande parte da aprendizagem significativa pode ser descrita como envolvendo a diferenciação progressiva. A *reconciliação integradora* consiste na recombinação de elementos existentes na estrutura cognitiva. Assim, uma nova informação, e parte da estrutura cognitiva, podem assumir uma nova organização e novo significado. Ela é mais completa quando possíveis fontes de confusão são eliminadas pelo professor ou pelos recursos didáticos, e é mais comum na aprendizagem superordenada ou combinatória. (AUSUBEL et al., 1980, p. 103-4).

2.4.3 DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA

Quando o conteúdo programático é organizado de acordo com os princípios da diferenciação progressiva, as idéias mais gerais e mais inclusivas são apresentadas inicialmente. Logo, são progressivamente diferenciadas, em termos dos seus detalhes e especificidades. Esta é a seqüência natural de aquisição de conhecimentos e corresponde ao modo como ele é armazenado na estrutura cognitiva. Tais pressupostos podem ser expressos da seguinte forma: i) é mais fácil a compreensão dos aspectos diferenciados de uma idéia mais inclusiva, aprendida anteriormente, do que formular a idéia mais inclusiva a partir das suas partes diferenciadas apreendidas anteriormente; ii) a organização cognitiva de um dado conteúdo se dá de forma hierárquica, em que as idéias mais inclusivas ocupam uma posição no topo desta estrutura, que pode ser comparada a uma pirâmide, e abrangem proposições, conceitos e dados factuais, que são progressivamente menos inclusivos e mais diferenciados. (AUSUBEL et al., 1980, p. 159).

2.4.4 RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA

Quando o princípio da reconciliação integradora (ou integrativa) da estrutura cognitiva é obtido por meio da programação de materiais instrucionais, preconiza-se uma abordagem contrária à prática usual dos manuais. Nestes, há compartimentalização e segregação de idéias ou tópicos particulares somente dentro de capítulos ou módulos específicos. Alguns manuais partem do princípio que os estudantes conseguem notar e estabelecer de forma satisfatória e habitual todas as relações e referências cruzadas existentes entre idéias relacionadas. São feitos poucos esforços sérios para explorar *explicitamente* suas relações, para assinalar semelhanças e diferenças significativas, para reconciliar as inconsistências reais ou aparentes e para combinar ou integrar idéias semelhantes, que sejam logicamente relacionadas umas com as outras. (AUSUBEL et al., 1980, p. 161; AUSUBEL, 2003, p. 168).

A abordagem compartimentada implica em algumas conseqüências não desejáveis: i) utilizam-se termos múltiplos para se representar conceitos equivalentes, gerando tensão e confusão cognitivas, o que acaba por incentivar a aprendizagem por memorização; ii) são erguidas barreiras artificiais entre tópicos intrinsecamente relacionados, não evidenciando importantes aspectos

comuns, impossibilitando a aquisição de idéias dependentes do reconhecimento destes aspectos comuns; iii) não se faz uso adequado de idéias relevantes aprendidas anteriormente, como base para a subsunção, incorporação e assimilação de novas informações relacionadas; e iv) conceitos aparentemente similares, cujas diferenças não foram tornadas claras e explícitas, são muitas vezes percebidos e retidos como idênticos, apesar de existirem diferenças significativas. (AUSUBEL et al., 1980, p. 161; AUSUBEL, 2003, p. 168).

Para que ocorra aprendizagem de novas idéias não-familiares, elas devem ser adequadamente discriminadas daquelas familiares, já estabelecidas na estrutura cognitiva. Se não for assim, os novos significados serão permeados por ambigüidades, idéias erradas e confusões, até deixarem de existir parcial ou completamente, por direito próprio. (AUSUBEL et al., 1980, p. 161-2; AUSUBEL, 2003, p. 168-9).

2.5 ESTRUTURA COGNITIVA

Para Ausubel a estrutura cognitiva é o principal fator que influencia a aprendizagem significativa e a retenção de conhecimentos. Os detalhes de uma disciplina são aprendidos de forma mais rápida e eficaz quando podem ser relacionados a conceitos e princípios gerais já estabelecidos. Quando tentamos influenciar a estrutura cognitiva para maximizar a aprendizagem significativa e a retenção, chegamos ao *âmago* do processo educativo. (AUSUBEL et al., 1980, p. 137-8). Há três importantes variáveis da estrutura cognitiva que devem ser destacadas: i) a disponibilidade de idéias de esteio especificamente relevantes, em um nível ótimo de *inclusividade*, *generalidade* e *abstração*; ii) o *quão discriminável* tais idéias são de conceitos similares e diferentes (mas potencialmente passíveis de confusão) no material de aprendizagem; iii) a *estabilidade* e *clareza* das idéias de esteio. (AUSUBEL et al., 1980, p. 138).

Uma variável essencial para a aprendizagem e a retenção de material novo, logicamente significativo, é a *disponibilidade na estrutura cognitiva de idéias de esteio especificamente relevantes* em um nível de inclusividade apropriado para oferecer uma possibilidade de relacionamento e esteio ótimos. (AUSUBEL et al., 1980, p. 141). Há duas situações em que podem não ocorrer aprendizagem significativa: i) se as idéias especificamente relevantes não estiverem disponíveis na estrutura cognitiva do aprendiz quando algo lhe for ensinado; ou ii) se subordinadores

apropriados, ou especificamente relevantes, estiverem disponíveis, mas a sua relevância não for reconhecida pelo aprendiz. Em ambos os casos, não haverá aprendizagem significativa, e sim aprendizagem mecânica.

Tendo em vista estes obstáculos à aprendizagem significativa, para ambos os casos, Ausubel advoga que nas situações de aprendizagem verbal significativa é possível, e preferível, inserir *materiais introdutórios* apropriados antes do material a ser aprendido. Estes materiais introdutórios têm a função de facilitar o relacionamento (ancoragem) do novo material de aprendizagem com elementos relevantes disponíveis na estrutura cognitiva do aprendiz. Funcionando como uma espécie de '*ponte cognitiva*'. Têm, também, a função fornecer subsunçores quando estes não estiverem disponíveis. Tais materiais introdutórios são denominados *organizadores* e devem ser, fundamentalmente, *mais gerais e mais inclusivos* que o material de aprendizagem. (AUSUBEL et al., 1980, 141-2; AUSUBEL, 1968, p. 131-2; AUSUBEL, 2003, p. 151-2).

A aprendizagem e a permanência na memória do novo material são funções da *estabilidade* e da *clareza* das idéias de esteio. Se estas forem ambíguas e/ou instáveis, oferecerão apenas a possibilidade de relacionamento inadequado e um esteio fraco. (AUSUBEL et al., 1980, p. 142). A estabilidade das idéias de esteio refere-se à manutenção da disponibilidade das mesmas ao longo do tempo (longevidade) e a clareza refere-se ao grau de explicação, lucidez e ausência de imprecisão e de ambigüidade (AUSUBEL, 2003, p. 161).

2.6 NATUREZA E USO DE ORGANIZADORES

Anteriormente, foi destacada a importância de algumas variáveis da estrutura cognitiva para a aprendizagem significativa. A ausência destas variáveis, bem como a presença sem a devida relevância para o aprendiz, dificulta, e até impede, a ocorrência da aprendizagem significativa. Sendo assim, a teoria prevê a inserção de *materiais introdutórios*, chamados *organizadores*, que têm como função prover a estrutura cognitiva para aprendizagem significativa. Apresentaremos aqui, os organizadores de forma mais detalhada.

Ausubel propõe uma estratégia para modificar a estrutura cognitiva e tornar mais fácil a aprendizagem significativa, de modo a aumentar a facilitação proativa e a minimizar a

interferência proativa. A estratégia consiste na utilização de *organizadores prévios*, que são materiais introdutórios adequados, os mais claros e estáveis possível, e são mais gerais, abstratos e inclusivos do que o material de aprendizagem. São introduzidos antes do conteúdo de aprendizagem com a finalidade de gerar condições cognitivas para a aprendizagem significativa. Auxiliam, desta forma, os alunos a reconhecerem quais elementos dos materiais de aprendizagem podem ser significativamente aprendidos, relacionando-os a aspectos relevantes da estrutura cognitiva já existente. (AUSUBEL et al., 1980, p. 143; AUSUBEL, 2003, p. 66; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 11). Organizadores prévios são mecanismos pedagógicos que auxiliam a programar e implementar os princípios da *diferenciação progressiva* e da *reconciliação integrativa*, estabelecendo a ligação entre o que o aprendiz já sabe e o que precisa saber. (AUSUBEL, 2003, p. 151). Eles são fundamentados na suposição de que a estrutura cognitiva é organizada de forma hierárquica, como uma pirâmide, em que conceitos mais gerais e inclusivos ocupam o topo da hierarquia e subsumem “sub-conceitos” mais diferenciados e dados factuais (AUSUBEL, 1960, p. 267).

Por exemplo, em uma dada situação, o material de aprendizagem é o *aço*. Foi dado para os alunos um organizador prévio, cuja ênfase foi colocada nas principais semelhanças e diferenças entre metais e ligas, suas respectivas vantagens e limitações, e as razões para se fazer e utilizar ligas. Este exemplo foi extraído de uma pesquisa sobre organizadores prévios, a qual tinha um grupo experimental e um grupo controle. Embora o organizador fornecesse ao grupo experimental conceitos relevantes de natureza geral, ele foi cuidadosamente montado para não conter informações específicas que pudessem conferir vantagem para responder qualquer uma das questões da avaliação sobre aço. Ao grupo controle foi dado um texto diferente. (AUSUBEL, 1960, p. 268).

O nível apropriado de inclusividade pode ser definido como o nível que é tão próximo quanto possível do grau de conceituação da tarefa de aprendizagem. Tendo em vista, evidentemente, o grau de diferenciação do assunto como um todo na estrutura cognitiva do aprendiz. Assim, quanto mais não-familiar for o material de aprendizagem para o aluno (*i.e.*, quanto mais não-diferenciada for a estrutura cognitiva de conceitos relevantes), mais inclusivo ou altamente generalizado devem ser os subsunçores para que sejam próximos. Se conceitos subsunçores apropriadamente relevantes e próximos não estão disponíveis, o aluno tende a utilizar aqueles mais próximos e relevantes que estão. Mas como é bastante improvável que podemos contar com disponibilidade espontânea da maioria de subsunçores próximos e relevantes, o modo mais

seguro de facilitar a aprendizagem e a retenção significativas é introduzir os subsunçores e torná-los parte da estrutura cognitiva por meio de organizadores prévios. (AUSUBEL, 1960, p. 270).

Em termos operacionais, organizadores prévios são definidos como instruções relativamente breves, que diferem dos resumos e das visões gerais, na medida em que seu conteúdo é (i) mais abstrato, inclusivo e geral do que o material de aprendizagem mais detalhado ministrado posteriormente, e (ii) é mais relacional e explicativo que as idéias relevantes existentes e presentes na estrutura cognitiva. (AUSUBEL, 2003, p. 151; AUSUBEL, 1978, p. 252). Têm um nível de abstração mais elevado, de maior generalidade e inclusividade que o novo material a ser aprendido. Assim, poderá ser útil a vários aprendizes, cada qual com sua estrutura cognitiva, e fornecer idéias de esteio em um nível superordenado (AUSUBEL, 2003, p. 152-3). Resumos não são organizadores prévios por serem apresentados no mesmo grau de abstração, generalidade e inclusividade do material de aprendizagem. Eles simplesmente destacam pontos principais dos materiais e omitem informações menos relevantes. (AUSUBEL et al., 1980, p. 143).

A função do organizador, após interagir com a estrutura cognitiva, é fornecer um apoio ideário para a incorporação e retenção estável do material mais detalhado e diferenciado ministrado posteriormente, bem como aumentar o poder de discriminação entre este material e as idéias semelhantes ou ostensivamente conflituosas da estrutura cognitiva. As razões pelas quais se justifica a utilização de organizadores prévios se baseiam em: i) a importância de ter idéias relevantes e apropriadas disponíveis na estrutura cognitiva, para tornarem logicamente significativo o material de aprendizagem potencialmente significativo e propiciar a ele uma ancoragem estável; ii) as vantagens de utilizar as idéias mais gerais e inclusivas de um dado conteúdo como idéias de esteio ou subordinadores (a saber: a adequação e especificidade da sua relevância, sua maior estabilidade inerente, seu maior poder explanatório, sua capacidade de integração); e iii) o fato de que os próprios organizadores tentam identificar e mobilizar idéias relevantes já existentes na estrutura cognitiva e a ser explicitamente relacionadas com eles, bem como indicar explicitamente sua relevância e, também, dos subsunçores já existentes para o material de aprendizagem. (AUSUBEL et al., 1980, p. 143-4; AUSUBEL, 1960, p. 270-1). Contudo, para serem úteis, *os próprios organizadores devem, obviamente, ser passíveis de apreensão e devem ser apresentados em termos familiares*. (AUSUBEL et al., 1980, p. 144-5; AUSUBEL, 2003, p. 152; AUSUBEL, 1960, p. 271).

Em resumo, os organizadores prévios são, então, utilizados para levar o aluno ao desenvolvimento de idéias subsunçoras que facilitem e propiciem a aprendizagem significativa subsequente, bem como destacar a relevância de subsunçores que eventualmente o aprendiz já possua. Sua principal função é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve aprender. Ou seja, são úteis na medida em que funcionam como *pontes cognitivas*, devendo se relacionar tanto às idéias relevantes, já presentes na estrutura cognitiva, quanto ao novo conhecimento a ser aprendido (MOREIRA; MASINI, 1982, p. 12).

2.7 PROPOSTA PARA UM FORNECEDOR DE SUBSUNÇOR

É importante chamar a atenção, inicialmente, para o fato de a Teoria da Aprendizagem Significativa destacar a importância de se elaborar um organizador para cada material de ensino, que fornece tanto uma visão geral do material de instrução mais detalhado *antes* do contato com este, quanto oferece elementos organizadores que são inclusivos e que levam em consideração o conteúdo *particular* contido no material. (AUSUBEL et al., 1980, p. 143-4; AUSUBEL, 2003, p. 152). Nesta pesquisa, trabalhamos com parte do conteúdo de eletrostática. Apresentaremos neste tópico algumas características dos organizadores prévios e faremos um contraponto com a nossa proposta para fornecer conhecimentos relevantes para aprendizagem significativa dos alunos.

A estrutura cognitiva é o principal fator que influencia a aprendizagem significativa e a retenção de conhecimentos, e esta estrutura está organizada de forma hierárquica, com os conceitos mais gerais e abstratos no topo e as idéias mais diferenciadas abaixo. Desta forma, os elementos diferenciados de uma disciplina são aprendidos de forma mais rápida e eficaz se a estrutura cognitiva do aluno possui conhecimentos mais gerais do que o material de aprendizagem. Isto se configura uma justificativa para a inserção de materiais introdutórios com o objetivo de prover a estrutura cognitiva com idéias mais gerais para que o aluno tenha condições de aprender significativamente, tendo em vista que este material introdutório deve obedecer às características de organização da estrutura cognitiva.

Se a estrutura cognitiva é o principal fator a ser considerado na aprendizagem significativa, faz-se importante identificar as suas principais variáveis: i) a disponibilidade de idéias de esteio especificamente relevantes em um nível ótimo de *inclusividade*, *generalidade* e *abstração*; ii) o *quão*

discriminável tais idéias são de conceitos similares e diferentes (mas potencialmente passíveis de confusão) do material de aprendizagem; iii) a *estabilidade e clareza* das idéias de esteio. (AUSUBEL et al., 1980, p. 138). Sendo assim, se o aluno não possuir subsunções relevantes, ou se a relevância destes, caso existam, não for reconhecida, não há aprendizagem significativa.

Desta forma, buscando prover a estrutura cognitiva dos graduandos com elementos (subsunções) que possam subsidiar a aprendizagem significativa, elaboramos uma proposta de discussão de textos históricos de fonte primária em sala de aula, procurando contemplar algumas das características dos organizadores prévios.

Uma característica dos organizadores prévios é o fato de ser um material introdutório adequado e apresentado antes do material de aprendizagem. Tendo isso em vista, a aplicação dos textos históricos foi feita em uma aula anterior à que o professor da disciplina ministrou o conteúdo de eletrostática. A discussão é adequada na medida em que versa sobre assuntos pertinentes e relacionados à parte do conteúdo da disciplina. Vale ressaltar que buscamos, a todo o momento, torná-la inteligível aos alunos. Outra característica dos organizadores prévios é que devem ser mais gerais e inclusivos que o material de aprendizagem que o sucede, proporcionando um arcabouço ideativo para a retenção e incorporação estável do conteúdo mais diferenciado ministrado posteriormente. Em nossa proposta, procuramos abordar o conteúdo dos textos históricos de forma a dar ênfase aos fenômenos, buscando discuti-los detalhadamente. Isto foi feito porque entendemos que discussões sobre os fenômenos podem, em alguns momentos, ser mais gerais e inclusivas do que os conteúdos específicos ministrados posteriormente. A maior generalidade se dá porque o material de aprendizagem detalha e explica estes fenômenos em termos das teorias e pressupostos “atuais”. A maior inclusividade deriva, diretamente, da maior generalidade, uma vez que idéias mais gerais têm maior possibilidade de subsumir idéias mais diferenciadas (ou menos gerais). (AUSUBEL et al., 1980, p. 143-4; AUSUBEL, 2003, p. 65-6). Entretanto, também é possível fornecer aos alunos, por meio das discussões, idéias no mesmo nível de abstração dos materiais de aprendizagem e também mais diferenciadas que eles.

Apresentaremos agora, alguns contrapontos que justificam porque nossa proposta não é um organizador prévio. Por definição, organizadores prévios devem fornecer conhecimentos mais gerais e inclusivos que o material de aprendizagem, já que sua existência se apóia na estruturação da estrutura cognitiva, em forma de pirâmide, como já discutimos. Em nossa proposta, as discussões de textos históricos também podem fornecer, além de conhecimentos mais gerais e

inclusivos, conhecimentos no mesmo nível de abstração e também conhecimentos mais diferenciados que o material de aprendizagem. Além disso, do ponto de vista metodológico, em geral, organizadores prévios são textos fornecidos aos estudantes para que eles leiam. Em nossa proposta, os textos eram lidos em sala de aula, em voz alta, pelos graduandos e pelos professores (mestrando e professor da disciplina). Os textos foram discutidos parágrafo por parágrafo, tendo em vista as peculiaridades e dificuldades deste tipo de material. Embora nossa proposta apresente atributos importantes de um organizador prévio, ela *não é* um organizador prévio genuíno, tal como definido por Ausubel.

3 METODOLOGIA

3.1 A PESQUISA

3.1.1 A PESQUISA QUALITATIVA

Na pesquisa qualitativa, a produção de conhecimentos sobre fenômenos humanos e sociais preza pela compreensão e interpretação de seus conteúdos e não apenas pela sua descrição (TOZONI-REIS, 2007, p. 10). Neste tipo de pesquisa, os objetos de estudo não são reduzidos a variáveis únicas e analisados singularmente. Eles são estudados na complexidade e totalidade de seu contexto, sendo o campo de estudo as práticas e interações dos sujeitos na vida cotidiana e não situações artificiais de laboratório. (FLICK, 2004, p. 21).

O ambiente natural é a fonte dos dados e o pesquisador, o instrumento principal. O investigador insere-se em escolas, bairros, etc., com o objetivo de elucidar questões referentes àquele contexto. Os dados são coletados e complementados no contato direto com os sujeitos, sendo os locais de pesquisa e seus contextos fatores importantes para a compreensão do objeto de estudo. Por isso, é importante saber como, e em que circunstâncias, os dados foram coletados. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 47-8).

A pesquisa qualitativa trabalha, principalmente, com textos. Os dados coletados são transformados em textos que são ponto de partida para os métodos de interpretação. Para Flick (2004), a pesquisa qualitativa pode ser representada, de forma esquemática, por duas trajetórias. Uma parte da teoria em direção ao texto e a outra sai do texto de volta para a teoria. Assim, o autor define a coleta e a interpretação dos dados em um plano de pesquisa específico como a intersecção dessas duas trajetórias. (FLICK, 2004, p. 27).

Na abordagem qualitativa deve-se observar o campo de estudo ciente de que nada é trivial. Tudo pode se constituir em uma pista que permita uma compreensão mais esclarecedora do objeto de estudo. O pesquisador deve fazer questionamentos e estar atento para os detalhes, tudo deve ser

avaliado e nada pode ser considerado como dado já adquirido. Por isso, a descrição funciona bem como método de coleta de dados. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 48-9)

Um ponto importante a destacar é que as reflexões dos pesquisadores sobre seu trabalho e suas observações no campo, suas impressões, irritações, sentimentos, etc., documentados em diários de pesquisa, tornam-se dados e podem compor a interpretação. (FLICK, 2004, p. 22).

Alguns dos aspectos essenciais da pesquisa qualitativa consistem na escolha correta de métodos e teorias; no reconhecimento e na análise de diferentes perspectivas; nas reflexões dos pesquisadores sobre sua pesquisa como parte do processo de produção de conhecimento; na variedade de abordagens e métodos; no fato de que na pesquisa qualitativa deve ser maior o interesse pelo processo do que pelos resultados e produtos; no fato de que os pesquisadores tendem a analisar seus dados de forma indutiva. (FLICK, 2004, p. 20; BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 49-50).

3.1.2 A MODALIDADE DA PESQUISA

Esta pesquisa consiste em um *Estudo de Caso*. Segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 89), “o estudo de caso consiste na observação detalhada de um contexto, ou indivíduo, de uma única fonte de documentos ou de um acontecimento específico”. Esta modalidade possui algumas subdivisões, mas vamos tomar apenas uma delas: *estudo de caso de observação*. Neste tipo de estudo de caso, a melhor técnica de coleta de dados é a *observação participante*, e o foco de pesquisa restringi-se a uma organização (*e.g.*, escola), ou em um ponto específico dela (*e.g.*, sala de aula, sala de professores, um grupo específico de pessoas, uma atividade). (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 90).

Em geral, o pesquisador escolhe uma organização e centra a pesquisa em um ponto particular dela. A escolha de um foco é sempre um ato artificial, pois implica na fragmentação do todo ao qual está integrado. Assim, há a tentativa de considerar a relação da parte com o todo, sendo que o pesquisador delimita a matéria de estudo pela necessidade de controlar a investigação. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 91). Neste trabalho de mestrado, o foco de pesquisa restringiu-se a um ponto específico de uma organização. Isto é, a disciplina Física Geral III da Licenciatura em Física, de uma universidade estadual do Estado de São Paulo e, dentro desta disciplina, restringiu-

se a pesquisa a um ponto específico, o conteúdo de eletrostática. Entretanto, é importante destacar que, segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 114), é raro o estudo qualitativo que não envolva *trabalho de campo*, o que de fato ocorreu nesta pesquisa.

3.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.2.1 DE COLETA DE DADOS

Utilizamos como técnicas de coleta de dados a *observação participante* e a *entrevista estruturada*, sendo que a observação é uma técnica de pesquisa bastante utilizada nas ciências humanas e está diretamente relacionada à pesquisa de campo. Esta técnica exige alguns cuidados para que seja melhor aproveitada, *e.g.*: delimitar o campo de coleta de dados para a observação, planejar a atividade de forma detalhada, registrar sistematicamente aquilo que é observado. É importante obter a maior quantidade possível de informações sobre o objeto de estudo. (TOZONI-REIS, 2007, p. 39).

Na observação participante, o pesquisador é agente no fenômeno a ser estudado e tem participação efetiva, *e.g.*, quando o pesquisador coleta dados sobre um processo educativo em que ele atua como professor (TOZONI-REIS, 2007, p. 29). Utilizamos a observação participante como técnica de coleta de dados na medida em que o mestrando esteve na sala de aula, discutindo textos históricos com os alunos, sendo que, para o registro dos dados obtidos em sala de aula, durante as discussões, foi utilizado um caderno de notas, feito após a aula.

A entrevista também é uma técnica bastante utilizada para a coleta de dados em pesquisa qualitativa. Para Tozoni-Reis (2007), esta técnica configura-se como qualquer tipo de comunicação, ou diálogo, entre o pesquisador e um sujeito da pesquisa com objetivo de obter informações (*i.e.*, dados). A entrevista pode ser de dois tipos: *estruturada* ou *semi-estruturada*. Na primeira, utiliza-se um roteiro com questões fechadas, que são apresentadas ao entrevistado. Na segunda, o pesquisador utiliza um roteiro como referência para a entrevista, que se dá de forma menos ortodoxa. (TOZONI-REIS, 2007, p. 39).

Segundo Tozoni-Reis (2007), o questionário é o grau máximo de estruturação de uma entrevista e consiste em um conjunto de questões pré-definidas e sequenciais apresentadas ao entrevistado. Tal como a observação participante, o questionário exige cuidados, *e.g.*: que o pesquisador tenha clareza sobre as informações pretendidas; que as questões sejam inteligíveis aos entrevistados; que haja lógica sequencial e progressiva, com precisão, clareza, coerência e simplicidade. Também se deve tomar extremo cuidado para que as perguntas não influenciem as respostas dos entrevistados. (TOZONI-REIS, 2007, p. 40).

Utilizamos também a entrevista estruturada como técnica de coleta de dados, cujo instrumento empregado foi o *questionário*, apresentado diretamente aos sujeitos da pesquisa. Foram aplicados dois questionários, o primeiro, na primeira aula da disciplina Física Geral III, com o objetivo de aferir e mapear os conhecimentos prévios dos graduandos sobre eletrostática. O segundo foi aplicado 25 dias após a aula em que os textos históricos foram discutidos, com o objetivo de aferir os conhecimentos adquiridos pelos alunos na interação com os textos. Os questionários consistiam de questões discursivas, que se encontram, respectivamente, nos *Apêndices A e B*.

3.2.2 DE ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados constitui-se num processo de organização e transcrição dos materiais que foram acumulados (*e.g.*, entrevistas, notas de campo, etc.), a fim de aumentar a compreensão destes materiais e permitir apresentá-los aos pares. Para isto, trabalha-se com os dados, buscando a sua divisão em unidades manipuláveis, a síntese, os padrões, a descoberta dos aspectos importantes. Assim, evidencia-se o que deve ser apreendido e o que deve ser transmitido aos pares. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 205).

Como referencial para esta etapa da pesquisa utilizamos principalmente a *análise de conteúdo* (BARDIN, 1977), e em alguns momentos utilizamos também os livros sobre pesquisa qualitativa de Bogdan e Biklen (1994, p. 203-241) e de Flick (2004, p. 179-270). A partir destes referenciais, foi traçado um esquema de trabalho que nos guiou na organização, sistematização e análise dos dados.

Segundo Bardin (1977, p. 42), a análise de conteúdo é definida como um conjunto de técnicas de análise das comunicações que visa obter indicadores (quantitativos ou não), a fim de proporcionar a inferência de conhecimento referente às condições de produção ou recepção dos dados. Para a realização da análise de conteúdo, a autora propõe um método composto por cinco passos, dentre eles destacamos quatro: i) organização da análise; ii) codificação; iii) categorização; e iv) tratamento informático. A seguir, apresentaremos, de forma breve, o procedimento utilizado para organizar e analisar os dados, sendo que os resultados e as análises serão apresentados no *Capítulo 4*.

3.3 ORGANIZAÇÃO DA ANÁLISE

3.3.1 A PRÉ-ANÁLISE

A pré-análise é a fase de organização propriamente dita, tendo por objetivo tornar operacionais e sistematizar as idéias iniciais (BARDIN, 1977, p. 95). Ao iniciarmos a pré-análise, procedemos à *preparação do material*, i.e., as respostas dos graduandos aos questionários aplicados foram digitadas. Em seguida, procedemos à *leitura flutuante*, que consiste em estabelecer contato com os documentos objeto da análise e conhecer o texto, deixando-se invadir por impressões e orientações. Nesta etapa foi realizada uma leitura geral dos dados, procurando adquirir as primeiras impressões e iniciar a escolha das questões que seriam utilizadas. Em um terceiro momento, procedemos à *constituição do corpus* para análise, selecionando as questões que seriam utilizadas neste trabalho¹⁴. Após determinar o corpus para análise, definimos quais as questões deste corpus seriam analisadas para o *exame geral de qualificação*, sendo que as outras questões foram analisadas posteriormente. Em um quarto momento, procedemos à *referenciação dos índices*¹⁵, pois os textos são manifestações de índices que o processo de análise fará falar. (BARDIN, 1977, p. 96-101). Para selecionar os índices, utilizamos a menção explícita de um tema nas respostas.

¹⁴ Por exemplo, no primeiro questionário optamos por fazer um mapeamento amplo dos conhecimentos prévios dos alunos sobre eletrostática. Depois, analisamos o questionário e selecionamos apenas questões que estavam diretamente relacionadas ao segundo questionário.

¹⁵ Nesta fase, Bardin (1977, p. 99) propõe a construção de *indicadores*, que correspondem à frequência relativa ou absoluta dos índices. Em nosso trabalho, optamos por não utilizar indicadores, uma vez que a frequência dos índices não era uma característica fundamental para os objetivos do trabalho. Com isto, utilizamos os próprios índices para o processo de codificação e formulação das categorias.

3.3.2 A EXPLORAÇÃO DO MATERIAL

A Codificação

Tratar um material é codificá-lo. E *codificação* corresponde a uma transformação – com base em regras estabelecidas – dos dados brutos do texto. Esta transformação permite que o conteúdo seja representado de forma a explicitar ao pesquisador as características do texto. (BARDIN, 1977, p. 96-103).

A execução desta etapa foi feita questão a questão, e compreendeu as fases apresentadas a seguir. Inicialmente, por meio de algumas leituras, destacamos as *unidades de registro* com base nos índices já selecionados. Unidade de registro é uma unidade de significação a codificar, ou seja, corresponde ao segmento do conteúdo a considerar como unidade base, visando à categorização. Utilizamos como unidade de registro o *tema*, que foi representado, tanto por *frases e orações*, quanto por *uma única palavra*. O tema pode ser definido como uma unidade de significação que é destacada do texto, segundo critérios e pressupostos que guiam a leitura. Em geral, respostas a questões abertas, entrevista individuais ou de grupo, etc., podem e são analisadas tendo como base o tema. (BARDIN, 1977, p. 104-6).

A Categorização

O principal objetivo da categorização é condensar e fornecer uma representação dos dados brutos. A análise de conteúdo parte do pressuposto que a categorização não impõe desvios ao material, mas que torna conhecidos índices invisíveis nos dados brutos. (BARDIN, 1977, p. 119).

A categorização é definida como “uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, seguidamente, por reagrupamento, segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos” (BARDIN, 1977, p. 117-8). Categorias são rubricas, ou classes que reúnem um grupo de elementos (unidades de registro) sob um título genérico, este agrupamento tem em vista caracteres comuns destes elementos. A categorização

comporta duas etapas: i) o *inventário* – isolar os elementos; e ii) a *classificação* – repartir os elementos, impondo certa organização às mensagens. O *critério* de categorização utilizado por nós foi o semântico, valendo-se de categorias temáticas. (BARDIN, 1977, p. 117-8). As categorias extraídas de nossos questionários são apresentadas no *Capítulo 4*, em formato de tabelas.

Para a categorização de parte de algumas questões do questionário de avaliação dos conhecimentos adquiridos com os textos, não foram utilizadas as técnicas descritas aqui para categorização. Isto ocorreu para aquelas questões que solicitavam a *descrição* de um determinado fato presente no texto. Para estas questões, utilizamos categorias como: i) *descreveu satisfatoriamente*; ii) *descreveu parcialmente*; ou iii) *não atingiu o objetivo*. Estas categorias foram feitas comparando as respostas com os textos. No *Capítulo 4*, colocamos, antes das tabelas com as categorias, o que seria uma resposta satisfatória para a questão. Entretanto, para algumas destas questões descritivas utilizamos também as técnicas de categorização mostradas anteriormente, com a finalidade de evidenciar outros elementos do texto que estavam presentes nas descrições.

3.5 PROCEDIMENTOS PARA APLICAÇÃO DOS TEXTOS

Foram utilizados três textos (excertos) de fonte primária. O primeiro foi montado com base no artigo de Stephen Gray (1731), o segundo com base em dois artigos de Charles Du Fay (1733; 1735), e o terceiro, com base no artigo de Benjamin Franklin (1747)¹⁶. Os textos utilizados em sala de aula são recortes dos artigos originais, traduzidos para o português pelo mestrando. Os artigos não foram utilizados na íntegra porque são bastante longos, e os recortes foram feitos, tendo em vista o objetivo do trabalho, isto é: o conteúdo de eletrostática da disciplina Física Geral III e os subsunçores a serem fornecidos aos alunos. Os textos foram aplicados na segunda aula do semestre, após a aplicação do questionário de conhecimentos prévios e antes de o professor da disciplina iniciar o conteúdo. Os textos encontram-se nos *Apêndices C, D e E*.

Os textos foram aplicados em uma aula de quatro horas, estando presentes o professor da disciplina e o mestrando, além dos alunos. Cada aluno recebeu uma cópia dos textos. No começo

¹⁶ Este artigo de Benjamin Franklin pode ser encontrado em: i) MORSE, R. M. *The electrical writings of Benjamin Franklin and friends: papers on electricity*, 2004; e ii) FRANKLIN, B. The one fluid theory of electricity. In: MAGIE, W. F. *A source book in Physics*. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1935. p. 400-402.

da aula, o mestrando solicitou à turma que algum aluno iniciasse a leitura em voz alta, e a cada novo parágrafo solicitava um novo voluntário¹⁷. Durante a leitura, o mestrando e o professor da disciplina procuravam discutir e explicar o texto, colocando questões aos alunos e tentando fazê-los interagir. Nas discussões, o mestrando procurava chamar a atenção dos alunos para pontos importantes dos textos, que são tidos como subsunçores para a aprendizagem significativa do conteúdo posterior de eletrostática. Em alguns momentos os alunos respondiam as questões feitas à turma e faziam perguntas sobre o texto, em outros momentos, isto não ocorria.

3.6 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Neste item, sintetizamos o que foi dito ao longo da *Metodologia*. A aplicação dos textos e a coleta de dados foram realizadas em uma disciplina de Física Geral III, em uma Licenciatura em Física. A coleta de dados foi realizada em três etapas. Na primeira delas, realizada no primeiro dia de aula, foi aplicado um questionário com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo de eletrostática. Na segunda, foram aplicados os textos históricos, e após a aula foram feitas anotações em um caderno de notas. Na terceira fase, foi aplicado um segundo questionário, com questões referentes aos textos trabalhados em sala. Este questionário também era o primeiro trabalho para nota da disciplina Física Geral III. Estas etapas ocorreram no mês de março de 2008. A *Figura 2* apresenta um esquema do processo de aplicação dos textos e coleta de dados.

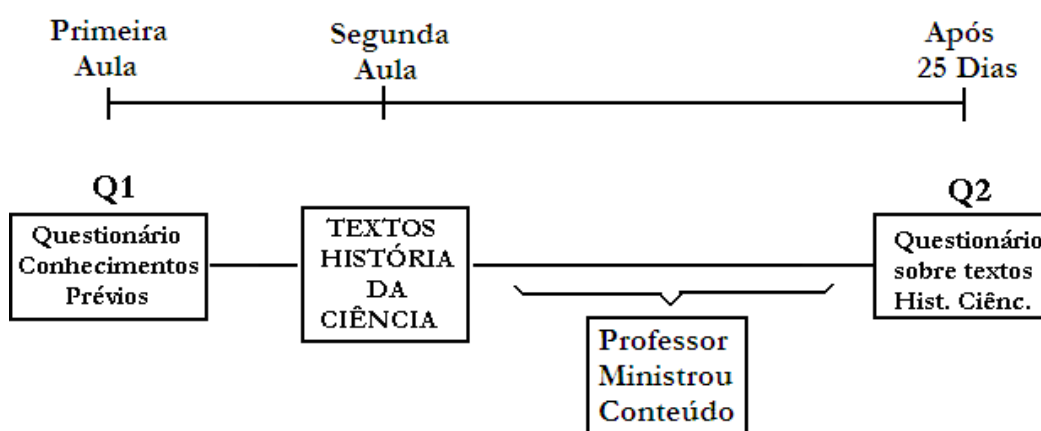


Figura 2 – Esquema do processo de aplicação dos textos e coleta de dados

¹⁷ A participação dos alunos não foi efetiva, em alguns momentos, o mestrando precisava efetuar a leitura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na *seção 4.1*, apresentamos um quadro (*Quadro 3*) que mostra alguns conhecimentos importantes (subsunçores) que julgamos necessários para a aprendizagem significativa dos conceitos de carga elétrica, de eletrização e de materiais condutores e isolantes. A elaboração desse quadro foi o primeiro passo para montar a proposta para trabalhar com os textos históricos em sala de aula. A coluna 1 do *Quadro 3* apresenta o *fenômeno ou conceito físico considerado*, a coluna 2 apresenta alguns *conhecimentos e habilidades importantes para o entendimento do respectivo fenômeno ou conceito* e a coluna 3 apresenta alguns *conhecimentos relevantes que podem ser fornecidos pelos textos históricos*.

No *Quadro 3*, as colunas 1 e 2, dos itens 1.1 a 1.4, foram extraídas de um quadro publicado por Furió e Guisasola (1998b, p. 133)¹⁸. A partir desses itens, elaboramos os itens 1 (eletrização), 2 (condutores e isolantes), 3 (carga elétrica) e a coluna 3. Inicialmente, foram montadas as colunas 1 e 2, então, analisamos os textos históricos com base nessas colunas e montamos a coluna 3. Esta apresenta algumas idéias que podem subsidiar a aprendizagem dos fenômenos e conceitos da coluna 1. Antes de aplicar o questionário de avaliação de conhecimentos prévios, tínhamos uma proposta geral para o *Quadro 3*, a qual foi alterada com base nas peculiaridades que os resultados desse questionário apresentou.

Na *seção 4.2*, estão os resultados e algumas discussões referentes ao *Questionário 1* (avaliação dos conhecimentos prévios dos alunos). As respostas dos alunos foram analisadas com base na metodologia descrita anteriormente, resultando em tabelas que apresentam algumas categorias. Na *seção 4.3*, estão os resultados e as discussões referentes ao *Questionário 2*, por meio do qual avaliamos alguns conhecimentos adquiridos pelos alunos na interação com os textos históricos. Da mesma forma, as respostas dos alunos foram analisadas com base na metodologia descrita anteriormente, resultando em tabelas que apresentam algumas categorias. Ainda na *seção 4.3*, apresentamos comentários sobre as questões do *Questionário 2*, tendo como base os textos históricos.

¹⁸ Aquilo que foi retirado de Furió e Guisasola (1998b, p. 133) consta em itálico, no Quadro 3.

Para a elaboração dos textos dos *Apêndices C, D e E*, os artigos de Gray (1731), Du Fay (1733, 1735) e Franklin (1747)¹⁹ foram traduzidos integralmente. Após a elaboração do *Quadro 3*, fizemos recortes nas traduções e montamos os textos. Como já mencionamos, os artigos originais são bastante extensos, por esta razão, optamos por trabalhar com excertos. Foram extraídas dos artigos originais partes que pudessem fornecer subsunçores para a aprendizagem significativa dos conceitos de carga elétrica, de eletrização, e de materiais condutores e isolantes. Tratamos nossos textos como fontes primárias porque são excertos extraídos *ipsis litteris* dos artigos originais. Também é importante ressaltar que os artigos traduzidos, na íntegra, foram colocados à disposição dos alunos para leitura.

4.1 ELETROSTÁTICA – ALGUMAS IDÉIAS IMPORTANTES

Quadro 3 – Fenômenos eletrostáticos, conhecimentos e habilidades necessários para o seu entendimento e conhecimentos fornecidos pelos textos históricos

(continua)

Fenômeno/conceito considerado	Conhecimentos e habilidades para entender o fenômeno	Conhecimentos fornecidos pelos textos históricos
1 - Eletrização	- Saber que os materiais podem adquirir propriedade atrativa/repulsiva por meio de algum processo; - Saber que existem formas diferentes para dar a um corpo a propriedade atrativa/repulsiva (por contato e sem contato).	- Propriedade atrativa/repulsiva do vidro quando é atritado; - Atração e repulsão de uma pena por um tubo de vidro e por uma cortiça, ambos eletrizados; - Eletrização por contato e sem contato; - Eletrização de materiais “isolantes” (penugem) e condutores (pequenas lâminas metálicas); - “Transmissão” da eletricidade do tubo de vidro para a cortiça; - “Transmissão” da eletricidade do tubo de vidro para a cortiça por meio de fios metálicos, varetas de madeira e barbante.

¹⁹ Este artigo de Benjamin Franklin pode ser encontrado em: i) MORSE, R. M. *The electrical writings of Benjamin Franklin and friends: papers on electricity*, 2004; e ii) FRANKLIN, B. The one fluid theory of electricity. In: MAGIE, W. F. *A source book in Physics*. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1935. p. 400-402.

Quadro 3 – Fenômenos eletrostáticos, conhecimentos e habilidades necessários para o seu entendimento e conhecimentos fornecidos pelos textos históricos

(continuação)

Fenômeno/conceito considerado	Conhecimentos e habilidades para entender o fenômeno	Conhecimentos fornecidos pelos textos históricos
1.1 - Eletrização por contato (atrito)	- Saber que a matéria é elétrica, ou seja, tem cargas positivas e negativas antes do atrito. A partir disso, a eletrização se explica por meio da troca de cargas entre os corpos atritados; - Saber o que é eletrização e que ela pode ocorrer por processos distintos, por contato e sem contato.	- Conhecimento de que existe o processo de eletrização por atrito; - Conhecimento de que um tubo de vidro atritado adquire certa propriedade atrativa/repulsiva.
1.2 - Eletrização por contato (simples toque entre corpos) e repulsão entre corpos carregados com mesma carga.	- Saber o que é eletrização e que pode ocorrer por processos distintos, por contato e sem contato; - Supõe-se que o corpo carregado transmite parte de sua carga para o corpo descarregado, e se explica a repulsão pelo princípio empírico de que duas cargas de mesmo sinal se repelem.	- Conhecimento de que existe processo de eletrização por simples toque entre os corpos; - Exemplos desse tipo de eletrização, e.g., pena atraída por objetos eletrificados é repelida ao tocá-los, o mesmo ocorre para pequenas lâminas metálicas.
1.3 - Eletrização sem contato. Eletrização de um objeto leve por influência ou indução de outro objeto carregado.	- Saber o que é eletrização e que pode ocorrer por processos distintos, por contato e sem contato; - O conhecimento explicativo requerido é mais complexo. A sequência argumentativa a ser utilizada pode ter as etapas: a) Se aceita que o objeto neutro tem cargas positivas e negativas; b) Supõe-se que, ao se aproximar um corpo carregado ao objeto leve, é produzido nele uma separação de cargas, segundo o princípio empírico anterior (item 1.2); c) A maior proximidade das cargas de sinal diferente justifica que a força atrativa seja maior que a repulsiva e, portanto, o corpo carregado atrai o objeto leve (uso qualitativo da Lei de Coulomb).	- Conhecimento de que existe processo de eletrização sem contato; - Este tipo de eletrização é verificado quando pequenos objetos são atraídos por corpos eletrizados; - Exemplos desse tipo de eletrização, e.g., pena e pequenas lâminas metálicas serem atraídas pelo tubo ou por outros materiais eletrizados.
1.4 - Eletrização por indução de um corpo extenso (dielétrico) por outro carregado, ou transmissão da “propriedade elétrica” através de um meio. Também chamada de polarização de dielétrico.	- São possíveis vários argumentos corretos de diferentes níveis conceituais: a) Mediante interpretação coulombiana semelhante a anterior, mas transmitindo a perturbação através das partículas do dielétrico; b) Mediante a introdução do campo elétrico criado pelo corpo carregado e transmitido através do meio; c) Transmissão efetiva de carga elétrica devido ao potencial elétrico.	- Conhecimento de que as propriedades elétricas de um corpo podem ser transmitidas para outros corpos por meio de materiais conhecidos como isolantes; - Exemplos desse tipo de eletrização, e.g., “transmissão” de eletricidade por meio de barbante, madeira, cortiça.

Quadro 3 – Fenômenos eletrostáticos, conhecimentos e habilidades necessárias para o seu entendimento e conhecimentos fornecidos pelos textos históricos

(conclusão)

Fenômeno/conceito considerado	Conhecimentos e habilidades para entender o fenômeno	Conhecimentos fornecidos pelos textos históricos
2 - Materiais condutores e isolantes	- Saber que qualquer objeto é constituído de cargas positivas e negativas; - Saber que, em alguns objetos, algumas cargas podem se movimentar livremente; - Saber que, em alguns materiais, as cargas que constituem o material têm grande dificuldade para se movimentar; - O entendimento se dá na medida em que o aluno assimila que os materiais que possuem cargas livres são tipicamente condutores porque estas cargas se movimentam no material quando submetidos a uma determinada diferença de potencial elétrico. Bem como que, os materiais isolantes, assim o são devido à dificuldade de movimentação de suas cargas, mas que, a partir de uma determinada diferença de potencial parte de suas cargas passam a se movimentar e ele se torna condutor.	- Mostra como o conceito foi inicialmente proposto e o porquê de sua proposição, mostra os problemas que levaram a este conceito, mostra as questões para cujas soluções o conceito foi introduzido; - Mostra que alguns materiais considerados como isolantes podem ser condutores; - Apresenta exemplos de situações e materiais isolantes que se comportam como condutores.
3 - Carga elétrica	- Aceitar que a matéria tem uma propriedade intrínseca que se apresenta de duas formas distintas; - Esta propriedade recebe o nome de carga elétrica e pode ser chamada de positiva ou negativa – nomeadas convencionalmente; - Não é possível definir o que é carga elétrica, mas é possível descrever seu comportamento e suas propriedades; - A carga elétrica é responsável pela interação atrativa/repulsiva entre corpos; - Há um princípio empírico de que cargas de mesmo tipo se repelem e de tipos diferentes se atraem; - Existe um princípio que rege os fenômenos elétricos, o princípio da conservação da carga elétrica.	- Apresenta e descreve a proposição de Du Fay de que há dois tipos de eletricidade – eletricidade vítrea e eletricidade resinosa; - Apresenta e descreve o comportamento e as propriedades da carga elétrica em várias situações distintas; - Apresenta elementos, atributos importantes do princípio da conservação da carga elétrica.

Nota: Parte do conteúdo deste quadro foi retirada do artigo de Furió e Guisasola (1998b, p. 133) (*em itálico*).

4.2 QUESTIONÁRIO 01

O *Questionário 1* foi aplicado no primeiro dia de aula, com o objetivo de aferir os conhecimentos prévios dos graduandos sobre alguns conceitos de eletrostática, e foi respondido por 33 alunos. A seguir, apresentamos os resultados obtidos em quatro questões deste questionário. Os resultados são apresentados em tabelas, nas quais são indicadas as categorias e as porcentagens de graduandos que expressaram tais categorias em suas respostas. Para a análise e categorização das respostas dos alunos, utilizamos as técnicas descritas no *Capítulo 3 – Metodologia* – deste trabalho. A soma das porcentagens expostas nas tabelas pode passar de 100% porque há respostas que expressam mais de uma categoria. Em algumas tabelas consta a categoria *não atingiu o objetivo*. Nela, enquadram-se aquelas respostas em que não foi possível compreender aquilo que o aluno queria dizer, que estavam fora do assunto perguntado, ou demasiadamente genéricas e que, por isso, não puderam ser enquadradas nas categorias levantadas. Nas tabelas apresentamos alguns exemplos destas respostas.

4.2.1 QUESTÃO 01

O que você entende por carga elétrica?

Tabela 1 – Respostas à Questão 01

CONCEPÇÕES DE CARGA ELÉTRICA	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Quantidade/divisão de prótons e/ou elétrons	30,3%
2. Propriedade ou característica da matéria	6,1%
3. Energia	18,2%
4. Algo com propriedade de atrair e repelir	9,1%
5. Propriedade magnética	3%
6. Movimento ordenado de elétrons	3%
7. Ente físico/grandeza física	6,1%
8. Indica a polaridade de uma partícula	3%
9. O que é capaz de mostrar se um corpo está carregado + ou –	3%
10. Partículas eletrizadas positiva ou negativamente	3%
11. Carga contida nos elétrons	3%
12. Meio elétrico (prótons ou elétrons)	3%
13. Partícula eletricamente carregada	3%
14. Não responderam	9,1%

Comentários

A análise e a categorização desta questão foram bastante laboriosas, tendo em vista que a diversidade das respostas era grande, como mostra o número de categorias com apenas um aluno (3%). As respostas nos chamam à atenção porque o conceito de carga elétrica é um conteúdo que, teoricamente, foi visto no terceiro ano do Ensino Médio. Contudo, a tabela acima evidencia várias confusões que os alunos fazem em relação a este conceito. Vamos comentar algumas categorias que mais nos chamaram a atenção. Na resposta mais comum entre os alunos, *categoria*

1, cerca de 30% deles entendiam a carga elétrica como a *quantidade ou a divisão de prótons ou elétrons no material*. As respostas mostram que estes alunos confundiam o conceito de *carga elétrica* com o conceito de *eletrização*. A *categoria 3*, mostra que cerca de 18% dos alunos confundiam o conceito de *carga* com *energia*. A *categoria 6*, mostra que um aluno confundia carga elétrica com corrente elétrica. Um dos alunos mencionou que a *carga elétrica caracteriza a matéria em relação a sua propriedade magnética* (*categoria 5*). Apenas 6% dos alunos definiram a carga elétrica como uma propriedade da matéria (*categoria 2*), e apenas 9% dos alunos destacaram a característica atrativa/repulsiva (*categoria 4*).

Este resultado muito nos chama a atenção, porque o conceito de carga elétrica está no início de um curso sobre eletricidade e magnetismo, seja no ensino Médio ou Superior. A partir desse conceito são definidos vários outros, tais como: eletrização, campo elétrico, lei de Coulomb, lei de Gauss, corrente elétrica, potencial elétrico, campo magnético, entre outros. Então, fica a seguinte dúvida: como é possível, para o aluno, entender aqueles conceitos definidos a partir do conceito de carga elétrica se ele não compreende o que é carga? Ou seja, o conceito de carga elétrica é subsunçor para vários outros conceitos. Se o aluno não o tem, conseqüentemente não aprenderá de forma significativa os outros conceitos. Isto tudo é reflexo de um ensino em nível Médio propedêutico e irresponsável, em que o importante é decorar expressões matemáticas e resolver problemas mecanicamente, sem a mínima preocupação com a compreensão dos fenômenos, dos conceitos e das próprias expressões matemáticas que são tão famosas na Física. Defendemos a utilização da História da Ciência no ensino de Física porque estamos convencidos de que, por meio dela, é possível auxiliar os alunos a compreenderem aquilo que lhes é ensinado. A Física não é trivial e seus conceitos não são tão simples quanto os professores tentam fazer parecer. Sem o entendimento daquilo que, em geral, é tido como banal, por exemplo, o conceito de carga elétrica, fica extremamente difícil entender conteúdos de Física.

4.2.2 QUESTÃO 02

O que você entende por eletrização?

Tabela 2 – Respostas à Questão 02

CONCEPÇÕES DE ELETRIZAÇÃO	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Processo que aumenta/diminui a quantidade de carga/elétron	12,1%
2. Transferir cargas/elétrons para um corpo	15,1%
3. Processo em que há movimentação das cargas/elétrons	6,1%
4. Colocar cargas/elétrons em um corpo	12,1%
5. Variação da quantidade de carga/elétron	21,2%
6. Não atingiram o objetivo ²⁰	30,3%
7. Não responderam	3%
Tipo de processo	
8. Mencionaram os termos <i>contato</i> e <i>atrito</i>	12,1%
9. Mencionaram os termos <i>atrito</i> e <i>indução</i>	3%

Comentários

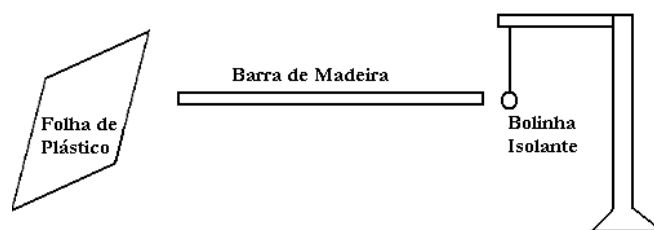
Esta questão nos mostra que o conhecimento que os alunos tinham sobre o conceito de eletrização ao ingressar no curso de Física III era parcial, ou um tanto quanto confuso. A tabela acima mostra que aproximadamente 30% dos alunos responderam de forma bastante genérica. São respostas que não evidenciam nem a essência e nem elementos do conceito de eletrização. Algumas delas são apresentadas na nota de rodapé 20. Alguns alunos mostraram que conheciam

²⁰ Respostas genéricas, tais como: “...propriedade dos materiais de adquirirem cargas elétricas.” [A1]; “O momento em que a partícula recebe uma corrente elétrica.” [A11]; “...são as cargas elétricas que os materiais têm ou adquirem.” [A13]; “...são duas partículas no qual, uma sendo positiva e a outra negativa, ou vice versa.” [A19]; “...é quando organiza os elétrons em um material, um exemplo disso é a eletrização por contato que pode ser feita, por exemplo esfregando um ímã em uma agulha e essa agulha fica eletrizada.” [A20]; “Dar condições para que o movimento de elétrons se torne ordenado [...]” [A21].

elementos do conceito de eletrização, tais como: i) que é um processo que aumenta ou diminui a quantidade de carga no material (12,1% - *categoria 1*); ii) que há transferência de cargas para um corpo (15,1% - *categoria 2*); iii) que é um processo em que há movimentação das cargas (6,1% - *categoria 3*); iv) que é possível colocar cargas em um corpo (12,1% - *categoria 4*); v) que ocorre variação da quantidade de carga (21,2% - *categoria 5*). No entanto, apenas 12% dos alunos mencionaram que a eletrização pode se dar por contato (atrito), e apenas 3% apontou a indução como umas das formas de se promover a eletrização de um corpo. É importante destacar que todas estas idéias são bastante relevantes e fazem parte do conceito de eletrização. Separadamente, elas não definem o conceito, mas juntas, e acrescidas de outras, formam um conjunto de elementos essenciais que definem o conceito.

4.2.3 QUESTÃO 03

a) Aproximamos uma folha de plástico, carregada eletricamente, do extremo de uma comprida barra de madeira sem tocá-la, como mostra a figura abaixo. No outro extremo da barra há uma bolinha de material isolante. A bolinha será atraída pela barra de madeira? Explique sua resposta.²¹



b) E se a *barra de madeira* for substituída por um *fio metálico de cobre*, a bolinha será atraída? Explique sua resposta.

²¹ Questão extraída de Furió e Guisasola (1998b; 1999).

Tabela 3 – Respostas à Questão 03a ²²

RESPOSTAS	JUSTIFICATIVAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. SIM (9,1%)	1.1. Indução de cargas	6,1%
	1.2. Não atingiram o objetivo	3%
2. NÃO (81,8%)	2.1. Madeira é isolante	42,4%
	2.2. Madeira é mau condutor	18,2%
	2.3. Bolinha é isolante	6,1%
	2.4. Madeira e bolinha são isolantes	9,1%
	2.5. Não atingiram o objetivo	6,1%
	3. Não responderam	9,1%

Comentários

A *tabela 3* mostra que aproximadamente 82% dos alunos *não* admitiram a movimentação (atração) da bolinha isolante quando, entre ela e uma placa eletrizada, é colocada uma barra de madeira. Para 61% dos alunos (*categorias 2.1 e 2.2*), a bolinha não é atraída pela barra de madeira porque esta não é um bom condutor de eletricidade; 6% atribuíram a não-atração ao fato de a bolinha ser isolante, e 9% atribuíram a não-atração ao fato de ambas (madeira e bolinha) serem isolantes. Note que a maioria dos alunos não admitiu a condução da eletricidade por meio da madeira, que é um material costumeiramente conhecido como isolante. Apenas 9% dos alunos responderam que poderia ocorrer a atração da bolinha, sendo que 6% apontaram, como justificativa, a indução de cargas no material.

²² A soma das porcentagens das categorias (justificativas) pode ser maior do que a porcentagem de alunos que responderam SIM ou NÃO porque há respostas que expressam mais de uma categoria.

Tabela 4 – Respostas à Questão 03b

RESPOSTAS	JUSTIFICATIVAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. SIM (54,5%)	1.1. Cobre é bom condutor	45,5%
	1.2. Eletrização ²³	12,1%
	1.3. Não atingiram o objetivo	3%
2. NÃO (27,3%)	2.1. Bolinha é isolante ²⁴	18,2%
	2.2. Isolante não interage com cargas/sistema	9,1%
	2.3. Bolinha está neutra	3%
	2.4. Bolinha não está eletrizada	3%
	2.5. Não atingiram o objetivo	3%
	3. Não responderam	18,2%

Comentários

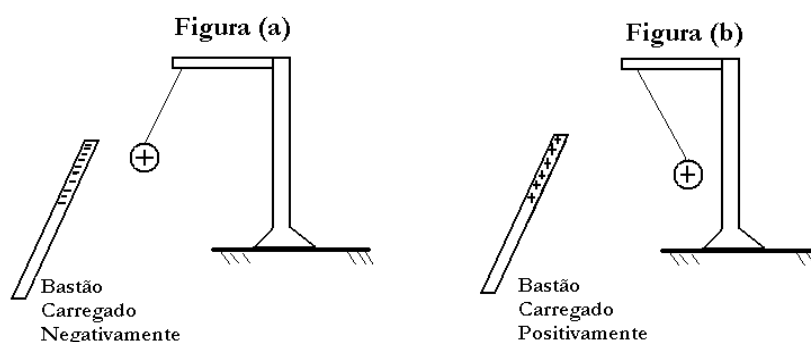
A *Tabela 4* mostra que aproximadamente 55% dos estudantes responderam que a bolinha seria atraída pelo fio metálico, sendo que a maioria desses alunos apontou como justificativa o fato de o fio de cobre ser um bom condutor elétrico. Do total de alunos, 27% responderam que não haveria movimentação da bolinha, sendo que a maioria deles justificou sua resposta com o fato de a bolinha ser um isolante. Alguns deles, ainda, mencionaram que um material isolante não interage com as cargas do sistema. Isto evidencia que estes alunos não entendiam ou não conheciam a eletrização sem contato (por indução).

²³ Aluno [A01] disse que o fio será eletrizado; aluno [A06] disse que haverá indução no fio; alunos [A12] e [A31] não mencionam o termo “indução”, mas descrevem este fenômeno.

²⁴ Três Alunos disseram que o fio metálico será eletrizado de alguma forma, mas a bolinha não será atraída porque é isolante. [A15; A24; A28].

4.2.4 QUESTÃO 04

a) Um pêndulo eletrostático, carregado positivamente, é atraído por uma barra de plástico carregada negativamente (Figura a) e é repelido por uma barra de plástico carregada positivamente (Figura b). Esta afirmação está correta? Se responder NÃO, explique por quê. Se responder SIM, como você explica este fenômeno?



b) E se a bolinha do pêndulo estiver neutra, o que acontece com a aproximação do bastão?

Tabela 5 – Respostas à Questão 04a

RESPOSTAS (33 SIM)	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais diferentes se atraem	78,8%
2. Cargas diferentes se atraem	15,2%
3. Para estabilizar no menor nível de energia	3%
4. Forças iguais se repelem e forças opostas se atraem	3%

Comentários

A tabela 5 mostra que maioria dos alunos (94% - categorias 1 e 2) respondeu a questão de forma correta. Entretanto, nos parece que as respostas dadas para a *Questão 4a* são mnemônicas, pois temos a impressão de que os alunos apenas tinham decorado uma regra: *cargas iguais se repelem e cargas diferentes se atraem*. Esta impressão emerge das próprias respostas dos graduandos, da forma

como eles responderam à questão, e.g.: [Al. 03] *Sim, porque cargas opostas se atraem e cargas iguais se repelem*; [Al. 12] *Sim, por cargas opostas se atraem e cargas iguais se repelem*; etc.

Tabela 6 – Respostas à Questão 04b

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Nada ^{25 26}	39,4%
2. Repulsão para bastão negativo	3%
3. Atração para bastão negativo	3%
4. Atração para bastão positivo ²⁷	3%
5. Atração para bastão positivo e negativo	18,2%
6. Repulsão para bastão positivo e negativo	3%
7. Apenas explicaram a separação de cargas ^{28 29}	12,1%
8. Bolinha adquire mesma carga que o bastão ³⁰	9,1%
9. Não atingiram o objetivo	9,1%
10. Não responderam	3%

Comentários

A *tabela 6* mostra que 18% (*categoria 5*) dos alunos responderam à questão corretamente. Para 40% dos alunos (*categoria 1*) nada ocorre com a bolinha, o que novamente evidencia que alguns deles, não entendiam, ou não conheciam, a eletrização sem contato (por indução). Também é interessante notar que 12% deles (*categoria 7*) explicaram a separação de cargas na bolinha, mas não disseram que isso levaria a bolinha a se movimentar em direção ao bastão.

²⁵ Quatro alunos argumentaram que partícula neutra não interage com partículas carregadas. [A03; A23; A25; A32].

²⁶ Um Aluno disse que para haver atração ou repulsão ambos os corpos devem estar carregados. [A21].

²⁷ Os elétrons exercem força de atração nos prótons da bolinha. [A30].

²⁸ Três alunos justificam com o fenômeno da indução. [A6; A7; A28].

²⁹ Um aluno disse que se formam cargas, na bolinha, apontando para o bastão. [A12].

³⁰ Um aluno disse que a bolinha adquire a mesma carga do bastão. [A1].

4.3 QUESTIONÁRIO 02

O Questionário 2 foi aplicado 25 dias após a aula em que os textos históricos foram trabalhados, com o objetivo de aferir os conhecimentos que os graduandos adquiriram com as discussões dos textos, para que pudéssemos verificar se houve aquisição de subsunçores para a aprendizagem subsequente. Este questionário era composto por 11 questões³¹ e foi respondido por 33 graduandos. Entretanto, cada aluno deveria escolher cinco questões para responder, por isto, o número de respostas para as questões variou entre 26 (questão mais escolhida) e 07 (questão menos escolhida). A cada questão apresentada nesta seção informaremos o número de alunos que a respondeu. Os resultados serão apresentados em tabelas, nas quais são indicadas as categorias extraídas dos dados e as porcentagens de graduandos que expressaram tais categorias em suas respostas. As porcentagens apresentadas dizem respeito ao número de graduandos que responderam à respectiva questão, e não ao total de alunos (33). Também apresentamos a resposta de cada questão, sendo que as perguntas respondidas pelos alunos foram analisadas com base nessas respostas. Para a análise e categorização das respostas dos alunos nós utilizamos as técnicas descritas no *Capítulo 3 – Metodologia* – deste trabalho. Ressaltamos que a soma das porcentagens expostas nas tabelas pode passar de 100%, porque há respostas que expressam mais de uma categoria. Em algumas tabelas consta a categoria *não atingiu o objetivo*. Nela, enquadram-se as respostas em que não foi possível compreender aquilo que o aluno queria dizer, bem como respostas que não estavam de acordo com o assunto perguntado, ou respostas demasiadamente genéricas e que, por isso, não puderam ser enquadradas nas categorias levantadas.

Apesar de pragmáticas, tendo em vista que em geral as questões deste questionário são descritivas, entendemos que esta é uma forma de conseguir reunir em uma resposta vários itens passivos de avaliação nesta pesquisa. A nossa preocupação não é apenas com o fato de os alunos responderem de forma satisfatória às questões, ou com descreverem certo ou errado as situações. Mas também, e principalmente, com os elementos dos textos históricos que estas respostas contêm, pois consideramos alguns destes elementos como subsunçores para o aprendizado dos conceitos de carga elétrica, eletrização e materiais condutores e isolantes.

³¹ Além dos textos discutidos para a coleta de dados deste trabalho de mestrado, também foram discutidos outros textos históricos durante toda a disciplina de Física Geral III. Por isto, neste questionário havia 11 questões, pois 05 delas versavam sobre outros dois textos discutidos e que não faziam parte deste trabalho.

Ressaltamos que a ocorrência da aprendizagem significativa está diretamente relacionada a conhecimentos relevantes que o aluno deve ter em sua estrutura cognitiva para ancorar o conteúdo a ser aprendido. No entanto, é pouco provável que ele disponha espontaneamente da maioria dos subsunçores necessários. Assim, fornecer os subsunçores ao aprendiz e torná-los parte da sua estrutura cognitiva é uma forma de facilitar e promover a aprendizagem significativa. (AUSUBEL, 1960, p. 270). Ausubel sugere que nas situações de aprendizagem verbal significativa sejam inseridos *materiais introdutórios* apropriados antes do material a ser aprendido. Estes materiais introdutórios, denominados *organizadores prévios*, têm como principal objetivo servir de *ponte cognitiva* entre aquilo que o aluno já sabe e aquilo que está para aprender, bem como fornecer subsunçores para os aprendizes.

Tendo isso em vista, este trabalho de mestrado verificou os conhecimentos prévios de graduandos em Física e trabalhou com trechos de textos históricos de fonte primária, buscando fornecer a eles, conhecimentos relevantes, que pudessem subsidiar a aprendizagem significativa dos conceitos de carga elétrica, de eletrização e de materiais condutores e isolantes. Agora, vamos discutir de que forma alguns elementos dos textos podem auxiliar a aprendizagem desses conceitos, e analisar se houve aquisição de subsunçores para a aprendizagem significativa. Como já mencionamos, para trabalhar com os textos históricos em sala de aula montamos uma proposta inspirada na definição e nas características do conceito de organizador prévio. Entretanto, nossa proposta *não* é um organizador prévio, tendo em vista que ela possui elementos importantes de um organizador, mas *não* possui todos os seus elementos essenciais, como já discutimos anteriormente.

4.3.1 QUESTÃO 01

No texto sobre Stephen Gray está escrito: “[...] tendo Recordado uma suspeita que tive há alguns anos, que [da mesma forma] como o Tubo transmitia Luz aos Corpos quando atritado no Escuro, se não poderia, ao mesmo tempo, comunicar Eletricidade a eles.”. Em seguida, Gray descreve o experimento que o levou à proposição da condução da eletricidade. Descreva este experimento e duas variações que mostrem que a eletricidade pode ser conduzida a certa distância.

Comentários

Dividimos esta questão em duas partes para facilitar a apresentação dos resultados e as discussões. A primeira parte versa sobre a descrição do experimento (*Tabela 7*) e a segunda, versa sobre as duas variações do experimento (*Tabela 8*). A questão pede, inicialmente, para que os alunos descrevam o experimento que levou Gray à proposição da condução da eletricidade. Do texto do *Apêndice C* podemos extrair o seguinte trecho³²:

TRECHO 1

[...] segurando uma Pena bem junto a Extremidade superior do Tubo, descobri que ela vai para a Cortiça, sendo atraída e repelida por ela, como pelo Tubo, quando excitado por atrito. Então segurei a Pena bem junto à Extremidade plana da Cortiça, a qual atraiu e repeliu muitas Vezes seguidas. Isto me deixou muito surpreso, e concluí que existia certamente uma Virtude Atrativa transmitida para a Cortiça pelo Tubo excitado. (GRAY, 1731, p. 20).³³

Este trecho descreve o experimento que levou Gray a concluir sobre a transmissão da eletricidade (virtude atrativa). Os elementos principais que deveriam estar nas repostas dos alunos para que fossem consideradas satisfatórias são: uma pena ao ser aproximada da cortiça, que tampava o tubo de vidro eletrizado (excitado por atrito), era atraída e repelida. No entanto, na análise das respostas procuramos levantar, também, elementos do texto (aspectos dos experimentos de Gray) que foram reportados por eles.

Alguns elementos deste fragmento do texto podem ser explorados: i) propriedade atrativa do vidro quando é atritado; ii) a transmissão da eletricidade do tubo de vidro eletrizado para a cortiça; e iii) a atração e repulsão³⁴ da pena pela cortiça.

O tema central deste trecho é a transmissão da eletricidade, porém, há outros conceitos envolvidos, e um deles é o conceito de *eletrização*. Neste sentido, o experimento apresenta dois tipos de eletrização: *por contato*³⁵ e *sem contato* (por indução)³⁶. É possível identificar a eletrização

³² A *Questão 1* versa sobre a *Parte 1* do texto do *Apêndice C*.

³³ Nas citações, as letras maiúsculas em algumas palavras do texto e os itálicos são características do texto original.

³⁴ É importante ressaltar que foi Du Fay quem reconheceu e explicitou a *repulsão* como um fenômeno elétrico verdadeiro, isto está bem detalhado na sua *Quarta Memória* (DU FAY, 1733). Antes disso, a repulsão era entendida como um epifenômeno. Apesar disto, utilizamos o termo *repulsão* ao comentar os experimentos de Gray para facilitar a compreensão daquilo que está sendo discutido.

³⁵ Quando dois materiais são colocados em contato, há troca de cargas elétricas (elétrons e/ou íons) entre eles, ocorrendo a eletrização dos corpos. Nesta forma de eletrização o fator importante é o contato entre os materiais,

por contato em dois momentos do *trecho 1*, quando o tubo é eletrizado por atrito, e quando a penugem utilizada para verificação da condução elétrica toca a cortiça. Também é possível identificar eletrização por indução em dois momentos: i) na transmissão da eletricidade do tubo para a cortiça, pois pode ocorrer a *polarização de dielétrico*; e ii) quando a penugem é colocada de frente a cortiça, pois a atração da pena ocorre devido ao fenômeno da indução elétrica. É interessante notar que a atração e a repulsão da penugem pela cortiça envolvem os processos de eletrização por indução (responsável pela atração) e por contato (responsável pela repulsão) sequenciais.³⁷

Em um segundo momento, a *Questão 1* pede para que os alunos descrevam duas variações do experimento já discutido. Do texto do *Apêndice C* podemos extrair os seguintes trechos:³⁸

TRECHO 2

Tenho uma Bola de Marfim de aproximadamente uma Polegada e três Décimos de Diâmetro com um furo através dela. Fixei-a em uma Vareta de Abeto³⁹ de aproximadamente Quatro polegadas de comprimento, inserindo a outra Extremidade na Cortiça. Atritando o Tubo, descobri que a Bola atraía e repelia a Pena com mais vigor do que a Cortiça havia atraído, (pg. 21)⁴⁰ repetindo as Atrações e Repulsões muitas vezes seguidas. Fixei a Bola em Varetas mais compridas, primeiro em uma de oito Polegadas, depois em uma de vinte e quatro Polegadas de comprimento, e encontrei o mesmo Efeito. (GRAY, 1731, p. 20-1).

TRECHO 3

Então, utilizei primeiro Fio de Ferro e depois de Latão para prender a bola, inserindo a outra Extremidade do Fio na Cortiça, como anteriormente, e descobri que a Atração era a mesma, como quando utilizava a Vareta de Abeto [...]. (GRAY, 1731, p. 21).

TRECHO 4

Isso me fez pensar: se a Bola fosse pendurada por um Barbante [de cânhamo], e suspensa no Tubo por um Laço, a Eletricidade não seria levada ao longo

entretanto, se estes forem atritados um ao outro pode haver uma intensificação na troca de cargas devido ao maior contato entre os materiais. Sendo assim, neste trabalho vamos tratar a eletrização por contato de duas formas: i) contato simples (um simples toque entre os materiais); e ii) contato por atrito.

³⁶ A *eletrização sem contato* é chamada, usualmente, de *eletrização por indução*. Nesta forma de eletrização não há troca de cargas entre os materiais. Ao aproximar um objeto eletrizado (indutor) de um não-eletrizado (induzido), há uma reorganização na distribuição das cargas do corpo neutro (induzido), de forma que, enquanto ele estiver sob a ação do indutor ele estará eletrizado (polarizado). Sendo assim, neste trabalho a expressão *eletrização sem contato* refere-se a este tipo de *eletrização por indução*. No entanto, a eletrização por indução pode ocorrer, também, com contato entre os materiais, por exemplo, no caso do fenômeno conhecido como *polarização de dielétrico* (ver o item 1 do *Apêndice F*). Mas, nesta situação, se considerarmos apenas a eletrização por indução, não há troca de cargas elétricas entre os materiais, diferentemente do que ocorre na eletrização por contato.

³⁷ Sendo a penugem um isolante, fica a pergunta: como pode ser eletrizada ao entrar em contato com um objeto carregado eletricamente? Uma breve discussão sobre este assunto está no *Apêndice F*.

³⁸ Após concluir sobre a condução da eletricidade, utilizando um tubo de vidro arrolhado com cortiça e uma pena, Gray utilizou outros materiais para verificar se ocorreria a condução elétrica. Estes experimentos, em que Gray utiliza materiais diferentes para verificar a condução da eletricidade, nós estamos chamando aqui de variação do primeiro experimento. O experimento e as suas variações são comentados a seguir.

³⁹ Espécie de árvore – tipo de madeira.

⁴⁰ Os números entre parênteses indicam a página original do texto.

da Linha para a Bola [?]. Eu provei isto da seguinte maneira: suspendendo a Bola no Tubo por um Barbante de aproximadamente três Pés de comprimento, quando o Tubo foi excitado por atrito, a Bola de Marfim atraiu e repeliu a Lâmina de Latão, sobre a qual ela estava colocada, tão livremente quanto ela havia feito quando estava pendurada em Varetas ou Fios, como fez também a Bola de Cortiça e outra de Chumbo que pesava uma Libra e um quarto. (GRAY, 1731, p. 21).

TRECHO 5

[...] a um Pólo [vara] de dezoito Pés foi amarrada uma Linha de trinta e quatro Pés de Comprimento, de forma que o Pólo e a Linha juntos tivessem cinquenta e dois Pés. Com Pólo e o Tubo eu fiquei em pé na Sacada, o [meu] Assistente [John Godfrey] embaixo, no Pátio, onde ele segurava uma Tábua com as Lâminas de Latão sobre ela; então o Tubo foi excitado como de costume, a Virtude Elétrica passou do Tubo para o Pólo, e da Linha para a Bola de Marfim, a qual atraiu a Lâmina de Latão, e a Bola passou (pg. 25) sobre ela Vibrando, a Lâmina de Latão a seguiria, ainda que fosse carregada para fora da Tábua: Mas estes Experimentos são difíceis de [se] fazer ao Ar livre, o mínimo Vento que está mexendo, carrega a Lâmina de Latão. (GRAY, 1731, p. 24-5).

Estes trechos expressam outros quatro experimentos que são variações do experimento reportado anteriormente, das quais os alunos deveriam descrever duas. Nestes quatro experimentos, verifica-se a ocorrência de eletrização, tal como ocorre no experimento inicial (*Trecho 1*). No entanto, as situações que envolvem a eletrização são diferentes e envolvem materiais diferentes. No *trecho 2 (variação 01)*, Gray utiliza varetas de madeira como material “transmissor” e uma bola de marfim, ambos são conhecidos como isolantes. A madeira é bastante conhecida pelos alunos por esta característica, como evidenciou a *Questão 3a* do questionário de conhecimentos prévios. A *Tabela 3* mostra que 61% dos alunos responderam que a bolinha não seria atraída pela barra de madeira porque esta não é boa condutora de eletricidade.

No *trecho 3 (variação 02)*, as varetas de abeto são substituídas por fios metálicos, e Gray afirma que a atração era a mesma obtida anteriormente. Esta afirmação é interessante porque compara dois materiais diferentes, metal (condutor) e madeira (conhecida como isolante), colocando-os como condutores de eletricidade. Esta afirmação é contrária ao conhecimento prévio dos alunos de que madeira *não* é condutora de eletricidade.

No *trecho 4 (variação 03)*, os fios metálicos são substituídos por barbantes de cânhamo e o detector⁴¹ de condução elétrica não é mais uma penugem, mas pequenas lâminas metálicas. Novamente, um material conhecido por ser isolante é apresentado como condutor, e o detector,

⁴¹ Detectores de eletricidade, em geral, são pequenas lâminas de metal que, tanto Gray, quanto Du Fay utilizavam para verificar se os corpos estavam eletrizados.

por sua vez, é um condutor, que também é atraído e repelido pela bola, tal qual o detector “isolante” (penugem). Neste experimento, também é utilizada uma bola metálica (de chumbo) no lugar da bola de marfim, colocada na ponta da *linha de transmissão*⁴². No *trecho 5 (variação 04)*, além da utilização de materiais conhecidos como isolantes, chamamos a atenção para a distância da transmissão – cerca de 15,5 metros. Note, não são os poucos centímetros da transmissão feita por varetas de madeira.

Resultados

Tabela 7 – Respostas à Questão 01 (Parte 1) ⁴³

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
Descrição do experimento	
1. Descrição satisfatória	56,3%
2. Descrição parcial	6,3%
3. Descrição equivocada	12,3%
4. Não atingiu o objetivo	6,3%
5. Não descreveu	18,8%
Aspectos ressaltados do experimento	
6. Tubo foi atritado	75%
7. Atração e repulsão da pena	56,3%
8. Atração da pena	18,8%
9. Apontou a conclusão	25%

⁴² Estamos utilizando a expressão *linha de transmissão* de forma genérica, para representar qualquer material utilizado para transmitir a eletricidade do tubo de vidro eletrizado para outro corpo.

⁴³ Dos 33 graduandos, 16 optaram por responder esta questão.

Tabela 8 – Respostas à Questão 01 (Parte 2) ⁴⁴

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Apresentou duas ou mais variações satisfatoriamente	31,3%
2. Apresentou uma variação satisfatoriamente	43,8%
Apresentou pelo menos uma variação satisfatoriamente (Total: 1. + 2.)	75%
Variações	
3. Variação 01	62,5%
4. Variação 02	6,3%
5. Variação 03	37,5%
6. Variação 04	6,3%
7. Outra Variação ⁴⁵	25%
Aspectos ressaltados do experimento	
8. Tubo foi atritado	50%
9. Atração e repulsão da pena	18,8%
10. Atração da pena	12,5%
11. Atração de pequeno pedaço de metal	18,8%
12. Interagir com/mexer objetos	12,5%
13. Repelir folhas ⁴⁶	12,5%
14. Atração de objetos	6,3%

⁴⁴ Dos 33 graduandos, 16 optaram por responder esta questão.

⁴⁵ Quatro alunos colocaram como variação do experimento a condução na posição vertical e/ou na posição horizontal, *i.e.*, a linha de transmissão na posição vertical ou horizontal. Três deles colocaram esta como a segunda variação, sendo que a primeira é uma das variações anteriores, e um quarto aluno colocou como as suas duas variações a condução na vertical e na horizontal.

⁴⁶ Folhas metálicas (pequenas lâminas metálicas) mencionadas no texto de Du Fay.

Análises e Discussões

A *Questão 01* chama a atenção para partes do texto de Stephen Gray em que é possível fornecer alguns subsunçores que julgamos ser importantes para a aprendizagem do conceito de *eletrização*. Para a discussão, dividimos esta questão em duas partes, a primeira aborda a descrição do experimento e a segunda, as duas variações. A primeira parte evidencia dois fatos importantes: i) um corpo pode adquirir certa propriedade atrativa e repulsiva, e ii) há duas formas distintas de dar esta propriedade aos corpos – por contato e sem contato (por indução). A segunda parte evidencia situações diferentes em que a eletrização ocorre.

Parte 1

O *item 1* do *Quadro 3* apresenta dois conhecimentos que julgamos ser subsunçores para o aprendizado do conceito de eletrização: i) saber que materiais podem adquirir propriedade atrativa/repulsiva por meio de algum processo, e ii) saber que existem processos diferentes para dar a um corpo a propriedade atrativa/repulsiva (por contato e sem contato). Essas idéias estão presentes no texto do *Apêndice C* e são evidenciadas pela primeira parte da *Questão 1*. Desta forma, por meio da apresentação e discussão do texto de Gray é possível fornecer esses subsunçores para os alunos. Segundo nosso referencial teórico, é essencial para a aprendizagem significativa de um novo conteúdo, que o aprendiz tenha idéias de esteio relevantes em sua estrutura cognitiva. Além disso, elas devem estar em um nível de inclusividade apropriado para que haja possibilidade de relacionamento e esteio ótimos. (AUSUBEL et al., 1980, p. 141). Sem esta disponibilidade não há aprendizagem significativa, mas sim aprendizagem de rotina – mecânica. Então, vamos discutir como esses dois subsunçores que podem ser fornecidos por meio do texto de Gray, podem auxiliar o aluno no processo de aprendizagem significativa do conceito de eletrização. Também vamos analisar quais subsunçores foram adquiridos pelos graduandos em relação a esse texto.

Podemos definir a eletrização, de forma geral, como um *processo* que gera certo desequilíbrio na quantidade de cargas positivas e negativas do material. Desta forma, dá a um determinado corpo propriedades elétricas, como por exemplo, a propriedade de atrair e repelir outros objetos.

Entretanto, esta definição carece de detalhamento para que possa englobar outros elementos que são atributos essenciais do conceito de eletrização. São eles: os tipos de processos envolvidos; o que é carga elétrica; de que forma se dá a alteração da quantidade da carga do corpo ou de uma região do corpo; que a atração e a repulsão ocorrem devido à interação entre cargas elétricas; que existe uma série triboelétrica; etc. O conceito de eletrização não é dado por apenas um ou outro destes conhecimentos mencionados, mas pelo conjunto deles e de suas relações.

Desta forma, as duas idéias presentes no texto de Gray, que corpos podem ser dotados com a propriedade de atração/repulsão e que existem maneiras, processos, diferentes para fazer isto, coincidem com a definição mais geral, dada anteriormente para a eletrização. Então, se o aluno tem essas duas idéias em sua estrutura cognitiva, há um conhecimento mais geral e inclusivo que, em um primeiro momento da aplicação deste conteúdo, pode ser organizado e nomeado como eletrização. Assim, o aprendiz passa a ter uma primeira definição a respeito do conceito. Esta nomeação pode ser entendida como o tipo mais complexo de aprendizagem *significativa representacional*, em que o conceito passa a ser representado por um determinado significante, ou que um significante tem o mesmo significado de determinado conceito (AUSUBEL et al., 1980, p. 40; AUSUBEL, 2003, p. 90). Esta definição inicial do termo eletrização ainda não é fundamentalmente o conceito, pois carece de outros atributos essenciais para que o seja de fato, mas já é um primeiro passo em direção a ele.

Uma vez ocorrida a aprendizagem representacional e o aluno tendo adquirido uma primeira definição sobre eletrização, há melhores condições cognitivas para que os outros conhecimentos que compõem o conceito sejam aprendidos. Afinal, existe na estrutura cognitiva do aprendiz um conhecimento mais geral e inclusivo que possibilita a ocorrência da *aprendizagem significativa subordinativa correlativa* com o material de aprendizagem mais diferenciado, ministrado depois. A teoria de Ausubel advoga que a aprendizagem subordinativa é mais fácil do que a aprendizagem superordenada. O argumento para a utilização de organizadores prévios se baseia no mesmo princípio (AUSUBEL et al., 1980, p. 159; AUSUBEL, 2003, p. 178), o qual afirma que a organização da estrutura cognitiva ocorre em forma de pirâmide, em que conhecimentos mais gerais e inclusivos ocupam o topo e são detalhados em termos dos conhecimentos mais diferenciados. Neste caso, o conteúdo subsequente é mais diferenciado, na medida em que aponta que a atração e a repulsão ocorrem devido a uma propriedade intrínseca da matéria denominada carga elétrica. E também, que a eletrização por contato altera a quantidade de carga elétrica do corpo, ao passo que a eletrização por indução altera momentaneamente apenas a

distribuição de cargas do corpo, etc. É possível ocorrer a *aprendizagem significativa subordinativa correlativa* porque o conteúdo ministrado posteriormente à idéia mais geral é uma extensão, modificação, ou qualificação dos conhecimentos adquiridos com os textos históricos.

Além disso, as idéias presentes nos textos históricos tentam identificar e mobilizar conhecimentos relevantes já existentes na estrutura cognitiva aos quais elas podem se relacionar. Também buscam apontar a sua própria relevância e a dos conhecimentos presentes na estrutura cognitiva para o novo material de aprendizagem. (AUSUBEL et al., 1980, p. 143-4; AUSUBEL, 1960, p. 270-1). Isto se dá porque as idéias dos textos não são adquiridas pelos alunos em um vácuo cognitivo. Há toda uma experiência prévia e conhecimentos remanescentes dos níveis escolares anteriores, inclusive sobre o próprio tema da eletrostática, uma vez que este é abordado no terceiro ano do Ensino Médio. Vamos ver agora de que forma isso pode ocorrer.

Apesar de os graduandos terem alguns conhecimentos sobre eletrostática ao ingressarem no Ensino Superior, o conhecimento sobre o conceito de eletrização é parcial ou um tanto quanto confuso, tal como verificamos no questionário de avaliação de conhecimentos prévios. A *Questão 2* deste questionário – *seção 4.2.2* – mostra que, ao responderem sobre o que entendem por eletrização, aproximadamente 30% dos alunos deram respostas bastante genéricas, as quais não expressam nem a essência e nem elementos do conceito de eletrização. Do total, 66% dos alunos expressaram, em suas respostas, conhecimentos relacionados ao conceito de eletrização, *i.e.*, elementos do conceito, como por exemplo: i) processo que aumenta/diminui a quantidade de carga/elétron (12,1%); ii) transferir cargas/elétrons para um corpo (15,1%); iii) processo em que há movimentação das cargas/elétrons (6,1%); iv) colocar cargas/elétrons em um corpo (12,1%); v) variação da quantidade de carga/elétron (21,2%). Todos estes conhecimentos são relevantes e devem compor o conjunto de idéias que expressam o conceito de eletrização. Tendo em vista que vários alunos possuem conhecimentos importantes para a aprendizagem do conceito de eletrização, as discussões sobre os textos históricos podem sinalizar sua importância, mobilizando-os para a aprendizagem posterior, o que pode contribuir para a aprendizagem significativa. Neste caso, porém, entendemos que a mobilização não é espontânea. É preciso que o professor chame a atenção dos alunos para a importância desses conhecimentos e sinalize para as possíveis relações futuras.

Agora, vamos olhar para os dados que reportam a aquisição de conhecimentos pelos alunos nas discussões com os textos históricos. Do início do *Trecho 1 – seção 4.3.1* – destacamos duas

afirmações: i) uma pena é atraída e repelida por um tubo de vidro excitado por atrito; e ii) uma pena é atraída e repelida por uma cortiça. Chamamos a atenção do aluno para a aquisição da propriedade atrativa/repulsiva pelo tubo, pela cortiça e pela pena, pois esta é atraída e repelida ao interagir com o tubo e com a cortiça. Há também, o fato de diferentes materiais poderem adquirir a propriedade atrativa/repulsiva, por meio de processos distintos, *e.g.*, i) *por contato*, tanto por atrito do tubo, quanto por um simples toque da pena no tubo, ou na cortiça, e ii) *por indução* (sem contato), já que a pena é atraída pelo tubo e pela cortiça sem que haja contato entre eles.

A *Tabela 7 – seção 4.3.1* – apresenta os dados extraídos das respostas dos alunos sobre a *parte 1 da Questão 1*. Estes dados mostram que 56% dos graduandos descreveram o experimento de forma satisfatória e 6% descrevem o experimento de forma parcial. Assim, mais da metade dos alunos expressaram em suas respostas os elementos que as configuram como satisfatórias: uma pena ao ser aproximada da cortiça que tampava o tubo de vidro eletrizado por atrito era atraída e repelida por ela. Nesta resposta há duas idéias importantes: corpos podem ser dotados com a propriedade de atração/repulsão e existem maneiras, processos, diferentes para se fazer isto, por contato (atrito) e sem contato (indução). Ou seja, pouco mais da metade dos graduandos adquiriram idéias do texto que podem dar origem, por meio da aprendizagem significativa representacional, a uma definição mais geral do conceito de eletrização. Além disso, esta resposta aponta outras duas idéias importantes: que a cortiça – conhecida como um material isolante – teve a eletricidade transmitida para ela, adquirindo a propriedade elétrica de atrair e repelir outros corpos e que a pena, também conhecida como isolante, é atraída e repelida pela cortiça. O conhecimento, por parte do aluno, que materiais comumente conhecidos como isolantes, podem comportar-se como condutores, possibilita a ocorrência de aprendizagem *significativa subordinativa derivativa e correlativa*, isto será discutido na *seção 4.3.2* com detalhes.

A *Tabela 7* apresenta ainda, a porcentagem de alunos que mencionaram, em suas respostas, elementos importantes do texto: que o tubo foi atritado (75%); que houve atração e repulsão da pena (56,3%); que houve atração da pena (18,8%). Estes conhecimentos são elementos que podem subsidiar a *aprendizagem significativa subordinativa derivativa* para o conceito de eletrização, pois são exemplos para o conteúdo ministrado posteriormente pelo professor. O conhecimento de que o tubo foi atritado é um exemplo de eletrização por contato, neste caso, por atrito. O conhecimento de que a pena sofreu atração e repulsão pode ser utilizado para ilustrar a eletrização por indução (sem contato), no caso do efeito de atração. Também pode exemplificar outras duas idéias, a de eletrização por contato simples e a idéia de que um material isolante pode

se comportar como um condutor, pois ao tocar o tubo a pena pode se eletrizar por contato, comportando-se como um condutor (ver *Apêndice F*). Portanto, no momento da aprendizagem subsequente o aluno possui conhecimentos que possibilitam a aprendizagem subordinativa derivativa.

Estes conhecimentos adquiridos pelos alunos com os textos reforçam, ainda, aquelas idéias que mencionamos anteriormente e que são subsunçores para o conceito de eletrização. A saber: corpos podem ser dotados com a propriedade de atração/repulsão, e existem maneiras diferentes de fazer isso (por contato e sem contato). Com isso, é possível proporcionar mais elementos aos alunos para subsidiar a *aprendizagem significativa subordinativa correlativa*, tal como mencionado anteriormente. Na *Parte 2* discutiremos outras formas de como estes conhecimentos adquiridos podem auxiliar os alunos na aprendizagem significativa do conceito de eletrização.

Parte 2

A segunda parte mostra algumas variações desse experimento, evidenciando outras situações em que ocorre a eletrização. Nos *Trechos 2, 3, 4 e 5* há quatro experimentos que são variações da situação apresentada no *Trecho 1*, estas variações apresentam a inserção de materiais diferentes nos experimentos. Com o intuito de verificar a transmissão da eletricidade para uma distância maior, para além da cortiça que arrolhava o tubo de vidro, Gray acoplou à rolha de cortiça varetas de madeira (abeto), fios metálicos e barbante de cânhamo, que são utilizados como linha transmissão. Em alguns experimentos ele também troca o detector de material isolante, a penugem, por um detector de eletricidade metálico (pequenas lâminas metálicas). O experimento inicial e as quatro variações possuem a mesma essência conceitual, entretanto, a discussão de diferentes situações pode ser bastante útil para a aquisição de conhecimentos subsunçores para a aprendizagem do conceito de eletrização. Discutiremos agora como estes conhecimentos podem auxiliar os alunos na aprendizagem significativa.

A apresentação das várias situações em que ocorre eletrização – *Parte 2* – pode ser utilizada para iniciar a *diferenciação progressiva* do fenômeno da eletrização, pois este pode ocorrer de formas diferentes e com materiais diferentes. Assim, as idéias mais gerais começam a ser progressivamente diferenciadas em termos de alguns detalhes e especificidades. Esta variação de

situações também é útil para dar início à *reconciliação integrativa*, uma vez que é bastante estranho para os alunos o fato de materiais considerados isolantes (*e.g.*, cortiça, madeira e barbante) serem utilizados em fenômenos de condução de eletricidade. Este estranhamento é bem evidenciado pela *Questão 3a – seção 4.2.3* – do questionário de conhecimentos prévios. Os dados mostram que 82% dos alunos não admitem a movimentação da bolinha isolante quando, entre ela e uma placa eletrizada, é colocada uma barra de madeira. Para 61% dos alunos, a não-atração da bolinha justifica-se porque a madeira não seria um bom condutor de eletricidade. Para 6%, a não-atração é atribuída ao fato de a bolinha ser isolante, e 9% atribuem a não-atração ao fato de a madeira e a bolinha serem isolantes. Estes dados deixam bastante claro que para a maioria dos sujeitos da pesquisa materiais, conhecidos por serem isolantes, não podem conduzir eletricidade. É neste tipo de conhecimento prévio equivocado ou confuso que as idéias dos textos podem atuar iniciando a reconciliação integrativa, pois para que ocorra aprendizagem de novas idéias não-familiares, estas devem ser adequadamente discriminadas das idéias familiares estabelecidas, caso contrário, os novos significados serão permeados por ambigüidades, idéias erradas e confusões (AUSUBEL et al., 1980, p. 161-2; AUSUBEL, 2003, p. 168-9).

A reconciliação integrativa também ocorre quando há uma abordagem não-compartimentada do conteúdo, ou seja, é apresentado em vários contextos, estabelecendo-se as relações necessárias entre as idéias relacionadas, uma vez que nem sempre os estudantes conseguem fazê-las de forma satisfatória e habitual (AUSUBEL et al., 1980, p. 161; AUSUBEL, 2003, p. 168). Tendo em vista isto, o texto histórico de Gray apresenta várias situações em que um mesmo fenômeno ocorre. É importante destacar que durante as discussões dos textos procuramos estabelecer relações entre idéias apresentadas em contextos distintos. Isso mostra que um mesmo fenômeno poderia ocorrer em situações diferentes, ou de formas diferentes, tal como a eletrização por indução, que ocorria tanto com uma pena quanto com pequenas lâminas metálicas, e ambas eram atraídas por condutores e por materiais conhecidos como isolantes.

Assim, o aprendiz começa a perceber de que forma as idéias apreendidas anteriormente são basicamente semelhantes às novas idéias, ou essencialmente diferentes. Ocorre, então, a mobilização de conceitos e idéias disponíveis na estrutura cognitiva que são relevantes e que podem desempenhar um papel de subsunçores em relação ao novo material de aprendizagem. Esta mobilização pode ser exemplificada pela *Questão 3b – seção 4.2.3* – do questionário de conhecimentos prévios, (na qual entre uma placa eletrizada e uma bolinha isolante é colocado um fio metálico), 45% dos alunos admitem a movimentação da bolinha devido ao fato de o fio ser

um condutor elétrico. Este é um conhecimento importante, pois, por exemplo, no momento da explicação de porque um metal não pode ser eletrizado por atrito quando segurado com a mão nua, a característica condutiva deste material será destacada para a explicação. Logo, é importante que este conhecimento seja mobilizado previamente, pois uma das causas de não ocorrência de aprendizagem significativa é o não-reconhecimento, pelo aprendiz, da relevância de determinados conhecimentos que ele possui. É importante ressaltar que tanto a diferenciação progressiva quanto a reconciliação integradora poderão apenas se iniciar nas discussões com os textos históricos, pois a finalização, a efetivação ou o aprofundamento destes processos cabe ao momento em que o material de aprendizagem for ministrado.

A aquisição das idéias discutidas nos textos históricos pode contribuir com a não-elevação do *limiar de disponibilidade* – que é valor crítico que a força de dissociabilidade dos materiais de aprendizagem assimilados deve exceder para que tais materiais possam ser reproduzidos posteriormente. Essas idéias podem contribuir com a não-elevação do limiar, porque fatores como o choque de aprendizagem inicial e a competição de memórias alternativas ou conflituosas, podem contribuir para elevar temporariamente o limiar de disponibilidade. A discussão dos textos históricos pode contribuir, por exemplo, com a minimização do choque de aprendizagem, tal como no fato de que materiais isolantes (*e.g.*, cortiça, madeira, barbante, etc.) podem ser condutores. Também pode contribuir para apontar a não-plausibilidade de idéias alternativas ou conflituosas da estrutura cognitiva, *e.g.*, material conhecido como isolante não pode conduzir eletricidade. A teoria da aprendizagem significativa assinala que pode ocorrer tanto resistência à aprendizagem quanto confusão cognitiva generalizada quando idéias não-familiares à estrutura cognitiva são introduzidas pela primeira vez. Esta resistência e confusão se dissipam à medida em que as novas idéias se tornem mais familiares e menos ameaçadoras para os alunos. (AUSUBEL et al., 1982, p. 117-8; AUSUBEL, 2003, p. 117-8). Assim, o trabalho com os textos históricos e a apresentação de fenômenos em contextos variados pode auxiliar a tornar idéias novas e desconhecidas mais familiares aos alunos.

O trabalho com os textos históricos pode contribuir, ainda, para a *significação potencial* do novo material de aprendizagem, pois esta depende também da estrutura cognitiva do aprendiz. A aquisição de significados ocorre em cada indivíduo, portanto, para que ocorra, de fato, à aprendizagem significativa não basta que as novas informações sejam simplesmente relacionáveis à idéias relevantes, que a maioria dos seres humanos pode adquirir. É necessário que estejam disponíveis na estrutura cognitiva de determinado aluno, para que possa satisfazer a função de

subsunção e ancoragem. Sendo assim, a *disponibilidade de conteúdo relevante* na estrutura de conhecimento de cada aluno é uma das variáveis mais importantes na determinação do potencial significativo. (AUSUBEL et al., 1980, p. 37; AUSUBEL, 2003, p. 74). Como já apontamos anteriormente, o material de aprendizagem discutido nesta *Questão* é o conceito de eletrização, e os conteúdos relevantes são as idéias mais gerais e inclusivas sobre este conceito, bem como as diversas situações e formas que a eletrização pode ocorrer. É importante lembrar que a significação potencial do material de aprendizagem é condição *sine qua non* para aprendizagem significativa (ver *Quadro 1*).

A aprendizagem significativa tem como fim a aquisição de novos significados, e o significado psicológico (verdadeiro) é um fenômeno cognitivo totalmente idiossincrático. A aquisição de significados verdadeiros depende, também, da posse, por parte do aluno, de idéias necessárias para subsumir e ancorar. (AUSUBEL, 2003, p. 78). Se a finalidade da aprendizagem significativa é a aquisição de significados, e esta só ocorre quando há subsunções relevantes, claros e estáveis na estrutura cognitiva do aprendiz, a inserção dos textos históricos pode contribuir para que o processo de aprendizagem significativa ocorra de fato. Isto se dá na medida em que subsidia a aquisição de significados verdadeiros, fornecendo conhecimentos relevantes para que isto ocorra, tal como aqueles mencionados anteriormente.

A teoria também prevê que a falta de capacidade de discriminação entre idéias e conhecimentos aprendidos anteriormente pode explicar parte da transferência⁴⁷ negativa (interferência pró-ativa⁴⁸) na aprendizagem escolar. Isto ocorre, sobretudo, quando idéias da estrutura cognitiva e conteúdos a serem aprendidos são confusamente semelhantes e quando as idéias aprendidas anteriormente não são claras e nem estão bem estabelecidas. Nesta última situação, o aprendiz encontra maior dificuldade no processo de aprendizagem do que se não tivesse sido exposto anteriormente a qualquer conhecimento. (AUSUBEL, 2003, p. 158). Esta circunstância é encontrada em parte dos sujeitos desta pesquisa, pois, 30% dos graduandos possuem conhecimentos equivocados ou confusos sobre o conceito de eletrização, tal como mostra a *Tabela 2 – seção 4.2.2*. O mesmo ocorre para o fato de, aproximadamente 70% (*Tabela 3 - itens 2.1, 2.2 e 2.4*) dos alunos não admitirem condução elétrica em materiais isolantes. Sendo assim, as

⁴⁷ Existe uma situação de *transferência* sempre que a estrutura cognitiva existente influencia o novo funcionamento cognitivo, quer se trate de uma aprendizagem receptiva, quer de solução de problemas (AUSUBEL et al., 1980, p. 140).

⁴⁸ “Interferência relativa exercida por idéias semelhantes contraditórias aprendidas anteriormente” (AUSUBEL, 2003, p. 107).

discussões dos textos históricos podem auxiliar na aprendizagem significativa na medida em que ajudam o aluno a ter subsunções menos confusos e mais estáveis, o que diminui a possibilidade de transferência negativa. É importante destacar que, a condução elétrica em isolantes pode ser explicada de formas diferentes, tal como apresenta o *Apêndice F*. Uma das explicações versa sobre a indução de cargas em dielétricos, ocasionando uma eletrização por indução do material isolante, assim, poderíamos falar em transmissão dos efeitos elétricos e não de carga propriamente dita. Isto nos permite mencionar a questão da “transmissão” da eletricidade neste tópico sobre eletrização.

As *Tabelas 7 e 8 – seção 4.3.1* – têm um item denominado *aspectos ressaltados do experimento*. Nele, destacamos alguns aspectos das respostas dos alunos que são pertinentes para discutir a questão do *processo* na eletrização. Um corpo pode ser eletrizado por *contato* (simples toque ou atrito) ou por *indução* (sem contato), assim há duas formas distintas de se promover a eletrização. É interessante que o aluno saiba disto quando da aprendizagem do conceito de eletrização, uma vez que este conhecimento detalha aquela idéia mais geral e inclusiva, já discutida anteriormente, de que há duas formas distintas de dar a propriedade atrativa/repulsiva aos corpos. O questionário de conhecimentos prévios evidencia que, ao ingressar no curso de Física Geral III, os graduandos não tinham clara a questão do processo na eletrização, já que, ao responderem a *Questão 2 – seção 4.2.2* – do questionário de conhecimentos prévios, apenas 12% dos alunos mencionaram o processo de eletrização por contato e apenas 3% dos alunos mencionaram o processo de eletrização por indução. Desta forma, as *Tabelas 7 e 8* mostram que houve aquisição de conhecimentos sobre os processos de eletrização, pois na *Tabela 7*, 75% dos alunos mencionaram que o tubo foi atritado, 56% mencionaram que houve atração e repulsão da pena e cerca de 19% mencionaram que houve atração da pena. Na *Tabela 8*, 50% dos alunos mencionaram que os tubo foi atritado, cerca de 19% mencionaram que houve atração e repulsão da pena, cerca de 13% mencionaram a atração da pena, outros 19% mencionaram a atração de pequenos pedaços de metal, 13% mencionaram que houve atração das folhas⁴⁹ e 6,3% mencionaram que houve atração de um objeto qualquer. Estes dados evidenciam que parte dos alunos adquiriu conhecimentos referentes aos processos de eletrização, pois mencionaram que o tubo era atritado antes de iniciar os experimentos e que havia atração/repulsão de objetos pela simples aproximação ao tubo, ou a outro material, para qual a eletricidade foi transmitida. Ressaltamos que os alunos não mencionaram os processos efetivamente, *i.e.*, não disseram *processos de eletrização*, mas apresentam conhecimentos que podem, no momento em que o conteúdo for ministrado, ser facilmente

⁴⁹ Folhas metálicas (pequenas lâminas metálicas), mencionadas no texto de Du Fay.

nomeados de processo de eletrização por atrito ou por indução. Novamente chamamos a atenção para o fato de que esta nomeação pode ser entendida como uma aprendizagem *significativa representacional*, em que o conceito passa a ser representado por um determinado significante (AUSUBEL et al., 1980, p. 40; AUSUBEL, 2003, p. 90).

Um fator importante que também merece destaque é o grau de inclusividade dos conhecimentos abordados nas discussões com os textos. Para a teoria da aprendizagem significativa o nível de inclusividade apropriado pode ser definido como o nível que é tão próximo, quanto possível, do grau de conceituação da tarefa de aprendizagem. Tendo em vista, evidentemente, o grau de diferenciação do assunto como um todo na estrutura cognitiva do aprendiz. Assim, quanto mais não-familiar for o material de aprendizagem para o aluno (*i.e.*, quanto mais não-diferenciada for a estrutura cognitiva de conceitos relevantes), mais inclusivo, ou altamente generalizado, devem ser os subsunçores para que sejam próximos. (AUSUBEL, 1960, p. 270). Em nosso caso, o material de aprendizagem (conceito de carga elétrica, de eletrização e de materiais condutores e isolantes) não pode ser considerado não-familiar para os alunos, uma vez que todos passaram pelo Ensino Médio e tiveram contato com este material. Entretanto, com o questionário de aferição dos conhecimentos prévios dos alunos, verificamos que havia certa confusão em relação aos conceitos questionados. Desta forma, optamos por apresentar e discutir os textos focando em conhecimentos e informações mais gerais, que teoricamente têm um nível de inclusividade mais alto. Buscando assim, maior efetivação ao organizar alguns conhecimentos já adquiridos e fornecer outros.

Com isto, pretendemos que os alunos possuam, em suas estruturas cognitivas, idéias de esteio *claras e estáveis*, pois a aprendizagem e a retenção do novo conteúdo são funções da estabilidade e da clareza das idéias de esteio. Se elas forem ambíguas e/ou confusas, oferecerão uma possibilidade de relacionamento inadequado e um esteio fraco para novos conteúdos potencialmente significativos, bem como não poderão ser facilmente discriminadas em relação a eles. (AUSUBEL et al., 1980, p. 142). Sendo que a estabilidade das idéias de esteio refere-se à manutenção da sua disponibilidade ao longo do tempo (longevidade) e a clareza refere-se ao grau de explicação, lucidez e ausência de imprecisão e de ambigüidade (AUSUBEL, 2003, p. 161). Desta forma, tentamos dar maior estabilidade e clareza para as idéias adquiridas com os textos, na medida em que buscamos relacionar as discussões com os conhecimentos prévios dos alunos aferidos previamente. Chamamos a atenção e fizemos contraponto com aqueles conhecimentos prévios que divergiam das idéias apresentadas pelos textos, buscamos discutir cada situação e suas

relações com outras situações de forma minuciosa, procurando chamar a atenção dos alunos para os detalhes e as características importantes daquilo que estava sendo discutido. Assim, tentamos mobilizar e apontar conhecimentos que seriam relevantes para a aprendizagem do conteúdo ministrado posteriormente pelo professor de Física Geral III. Por isso, optamos por discutir os textos com os alunos e não apenas deixá-los ler, pois seria na mediação⁵⁰ que os detalhes, as relações e os contrapontos poderiam ser destacados e discutidos. Além disso, a mediação do professor permite que os alunos superem eventuais faltas de subsunções para entender os próprios textos históricos. Apesar de buscar, durante a aplicação dos textos, que os conhecimentos adquiridos pelos alunos com as discussões possuísem as características de clareza e estabilidade, não nos é possível, neste trabalho, aferir ou verificar se aqueles conhecimentos adquiridos e evidenciados por nossos dados assumem tais qualidades.

4.3.2 QUESTÃO 02

Descreva o experimento em que Stephen Gray e seu amigo Wheler propuseram a existência de materiais condutores e isolantes.

Comentários

Esta questão versa sobre a *Parte 2* do texto do *Apêndice C*. A essência da resposta está no parágrafo 10. No entanto, a compreensão do experimento exige a contextualização dada pelos parágrafos anteriores. No parágrafo de número 7, Gray descreve o primeiro experimento que realizou com o intuito de promover a transmissão da eletricidade com as linhas de transmissão dispostas na posição horizontal. Até então, ele havia conseguido transmitir a eletricidade do tubo de vidro apenas com as linhas de transmissão na posição vertical⁵¹. Não houve êxito nesta tentativa porque a linha de transmissão (aqui um barbante) estava suspensa por um prego. No parágrafo de número 8, Wheler sugere a Gray para utilizar fios de seda como suporte para a linha

⁵⁰ Este termo é utilizado aqui com a seguinte acepção: *ato de servir de intermediário entre os alunos e os conhecimentos do texto*. Não queremos imputar neste termo qualquer significado que possa vir de outro referencial teórico.

⁵¹ Gray já havia conseguido a transmissão da virtude elétrica na horizontal, utilizando madeira como linha de transmissão, no entanto, as distâncias eram pequenas.

de transmissão. No parágrafo de número 9, Gray e Wheler realizam o primeiro experimento com êxito para a condução da eletricidade com a linha de transmissão na posição horizontal. No parágrafo de número 10, Gray e Wheler descrevem o experimento realizado que culminou na conclusão de que existem materiais condutores e materiais não-condutores de eletricidade, este parágrafo reporta:

[...] Isto nos encorajou a adicionar outro Retorno; mas ao começarmos atritar o Tubo nossa Linha de Seda se rompeu, não sendo forte o suficiente para agüentar o Peso da Linha [de Transmissão], quando chacoalhada pelo Movimento dado a ela pelo atrito do Tubo. Com isto, tendo trazido comigo Fios de Latão e de Ferro, em vez da [Linha de] Seda colocamos um fino Fio de Ferro; mas este também foi fraco para agüentar o Peso da Linha [de Transmissão]. Nós então tomamos um Fio de Latão um pouco mais grosso do que (pg. 29) o [fio] de Ferro. Este suportou a nossa Linha de comunicação, mas embora o Tubo estivesse bem atritado, não houve o mínimo Movimento ou Atração dada pela Bola, nem com o Tubo grande, que utilizamos quando notamos que o pequeno Cano maciço era ineficaz. Por isto fomos convencidos [de] que o Sucesso que havíamos obtido anteriormente dependia das Linhas que sustentavam a Linha de Comunicação, sendo seda, e não delas serem finas, como antes do Teste imaginei que pudesse ser; o mesmo Efeito ocorrido aqui foi obtido quando a Linha que transmitiria a Virtude Elétrica foi sustentada por Barbante (Packthread), a saber, que quando o Eflúvio vinha para o Fio ou Barbante que sustentavam a Linha [de condução], ele passava deles para a Madeira, na qual cada Extremidade deles estava fixadas, e assim não ia mais adiante na Linha que a levava para a Bola de Marfim. (GRAY, 1731, p. 28-9).

As respostas, para serem consideradas satisfatórias, teriam que ter os seguintes elementos do parágrafo: com os suportes da linha de transmissão feitos de linhas de seda houve condução da eletricidade, quando os suportes foram feitos de fios metálicos não houve condução. A partir disso, concluiu-se que existem materiais que conduzem a eletricidade (não-elétricos) e materiais que conduzem a eletricidade (elétricos). Estes são elementos fundamentais que configuram como satisfatória a resposta do aluno. No entanto, como já dissemos anteriormente, estamos interessados também nos elementos dos textos históricos que constituem as respostas dadas, tal como podemos ver, a seguir, na *Tabela 9*.

Como na *Questão 1*, o foco deste experimento é a condução da eletricidade, porém, o trabalho de Gray culmina na conclusão de que existem materiais não-elétricos e elétricos, atualmente denominados condutores e não-condutores (isolantes) de eletricidade. Em meio às discussões sobre condução e materiais condutores e isolantes existem fenômenos eletrostáticos interessantes envolvidos no processo e que merecem destaque. Na citação anterior, foi mencionado o atrito do tubo de vidro, permitindo novamente chamar a atenção para a questão da eletrização por contato

(neste caso por atrito). Menciona-se também que o suporte da linha de transmissão feito de linha de seda – conhecida como isolante – foi substituído por um suporte de fio metálico – conhecido como condutor. Com a utilização do fio metálico, não houve atração das pequenas lâminas metálicas (detectores de eletricidade) pela bolinha presa na ponta da linha de transmissão. É interessante notar o fato de que suportes de diferentes materiais (fios de seda e fios de ferro) promoveram fenômenos distintos com relação à condução da eletricidade. O barbante, quando colocado como suporte não permitiu a condução elétrica, o que reforça a idéia de que nestes experimentos ele é um condutor, ao contrário do que é, em geral, conhecido. Um fato a se destacar é a linha de seda se comportar como um isolante, ao contrário de outros materiais conhecidos como isolantes que se comportaram como condutores (*e.g.*, madeira, barbante, cortiça, etc.). Chamamos a atenção também para como se dá a conclusão sobre a existência de materiais condutores e não-condutores, que o fator responsável por permitir a condução é o tipo de material e não a espessura do fio.

Resultados

Tabela 9 – Respostas à questão 02 ⁵²

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
Descrição do experimento	
1. Descrição satisfatória	60%
2. Descrição parcial	6,7%
3. Descrição equivocada	13,3%
4. Não atingiu o objetivo	20%
 Relação <i>suporte de metal X suporte de seda</i>	
5. Destacou a utilização de ambos os suportes	53,3%
6. Menciona apenas suporte de seda	20%
 Detecção	
7. Detecção da condução por atração de pequenas lâminas metálicas	26,7%
8. Menciona detecção mas não define o material	20%
9. Não menciona a questão da detecção	33,3%
 Transmissão	
10. Barbante como linhas de transmissão	33,3%
11. Não define o material	26,7%
12. Fio metálico como linha de transmissão	13,3%
13. Despreza suporte – fios metálicos, de seda, madeira como linha de transmissão	6,7%

⁵² Dos 33 graduandos, 15 optaram por responder esta questão.

Análises e Discussões

A *Questão 02* também versa sobre partes do texto e experimentos de Gray – *Apêndice C - Parte 2*. Com a discussão deste trecho é possível fornecer alguns subsunçores que julgamos ser importantes para a aprendizagem do conceito de *materiais condutores e isolantes*.

A História da Ciência permite a análise conceitual e é, também, um instrumento da assimilação de conceitos. A História da Física mostra *como e por que* um conceito foi criado e evidencia as questões e problemas que precederam a sua formulação, revelando o papel do conceito dentro de uma teoria, sua função e seu significado. Desta forma, por meio da História da Ciência, é possível clarificar conceitos e revelar seu significado. (DIAS, 2001, p. 226; DIAS; SANTOS, 2003, p. 1616).

Estes conhecimentos destacados por Dias e Santos, que a História da Ciência pode fornecer, são importantes para a aprendizagem significativa, pois podem auxiliar o aluno na compreensão conceitual. Assim, a discussão de como Gray chegou à conclusão de que existem materiais condutores e isolantes, pode fornecer algumas idéias importantes aos alunos, *e.g.*, como o conceito foi criado, o porquê de seu surgimento, o problema que veio resolver. A *Parte 2* do texto do *Apêndice C* apresenta esses elementos históricos, e a *Questão 2*, procura verificar que conhecimentos os sujeitos da pesquisa adquiriram com esta discussão. Desta forma, a *Tabela 9 – seção 4.3.2* – revela que 60% dos alunos responderam essa questão de forma satisfatória, portanto é possível dizer que eles adquiriram as idéias mencionadas acima. Tal como já mencionamos, uma resposta satisfatória para a questão deveria conter as seguintes informações: com a utilização dos suportes da linha de transmissão feitos de linhas de seda houve condução da eletricidade, quando os suportes foram feitos de fios metálicos não houve condução. A partir disso, concluiu-se que existem materiais não-elétricos e elétricos, respectivamente materiais condutores e materiais não-condutores. Uma vez que os alunos possuem tais idéias é possível que haja uma melhor compreensão do conceito de materiais condutores e isolantes.

Há elementos do texto que podem ser considerados como subsunçores para a aprendizagem significativa. Entendemos que seria pertinente discutir as situações em que materiais, geralmente considerados como isolantes, são utilizados como condutores. Além disso, mostrar que há materiais conhecidos como isolantes que mantêm esta característica nos experimentos. Isto é

importante porque, no momento em que for ministrado o conteúdo sobre condutores e isolantes, será apresentado aos alunos que, dito de forma geral, alguns materiais são condutores porque possuem cargas elétricas se movimentando livremente em sua estrutura, e outros materiais são isolantes porque não possuem cargas se movimentando livremente. No entanto, os materiais isolantes podem se tornar condutores se submetidos a um campo elétrico suficientemente alto⁵³ (ver *Apêndice F – item 2*). Se no momento em que este conteúdo for ministrado aos alunos eles tiverem, em suas estruturas cognitivas, o conhecimento de que materiais que comumente são conhecidos como isolantes podem comportar-se como condutores e exemplos disto, há a possibilidade de ocorrer aprendizagem *significativa subordinativa derivativa e correlativa*. Vamos ver de que forma estas aprendizagens podem ocorrer.

Se tomarmos a idéia de que alguns materiais, em geral, são conhecidos como isolantes e se comportam como condutores em determinadas situações, é possível que haja *aprendizagem significativa subordinativa correlativa*. Vamos tomar aqui uma situação típica de sala de aula⁵⁴. Quando o professor define e diferencia materiais condutores e isolantes da forma como colocamos no parágrafo anterior, em geral, as discussões sobre estes tipos de materiais são feitas tendo em vista diferenças de potenciais (ddp's) usuais, como 127 e 220 volts. Para estas ddp's, ou ddp's da mesma ordem de grandeza, os metais são condutores e materiais como madeira e borracha são isolantes. Em geral, os alunos acabam ficando com a idéia de que esses materiais são isolantes sem considerar que podem existir situações em que eles são condutores⁵⁵. Com isso, o fato de Gray utilizar madeira, e outros “isolantes”, como linha de transmissão, ou seja, há situações em que a madeira é condutora, é uma idéia que *modifica e qualifica* o conhecimento mais geral sobre condutores e isolantes definido previamente. Isto caracteriza a aprendizagem significativa subordinativa correlativa.

Os dados mostram que parte dos alunos adquiriu a idéia de que materiais conhecidos como isolantes podem conduzir eletricidade, pois a *Tabela 8 – seção 4.3.1* – mostra que aproximadamente 63% dos alunos que responderam a *Questão 1* descreveram satisfatoriamente a *variação 1* do experimento, cerca de 38% descreveram satisfatoriamente a *variação 3*, cerca de 6%

⁵³ Isso justifica o fato de utilizarmos, em nosso texto, a expressão *materiais conhecidos como isolantes*, pois um material é isolante para determinado potencial elétrico e não é para outro. Por isso, procuramos não utilizar a afirmação *materiais isolantes*, já que não apontamos informações sobre a diferença de potencial a que o material está submetido.

⁵⁴ Esta situação foi proposta com base na nossa experiência de sala de aula.

⁵⁵ Nossa experiência nos permite dizer que é comum, alunos e professores, estranharem o fato de Gray evidenciar a condução da eletricidade utilizando madeira como linha de transmissão. Isto é mostrado pela *Questão 03a* do questionário de conhecimentos prévios, em que 42% dos alunos (*Tabela 3 - categoria 2.1*) justificaram suas respostas dizendo que a madeira é isolante.

descreveram satisfatoriamente a *variação 4*. Em todas elas, a linha de transmissão é composta por materiais conhecidos como isolantes. A *Tabela 9 – seção 4.3.2* – mostra, ainda, que 33% dos alunos que responderam a *Questão 2* mencionaram o barbante como linha de transmissão.

Corroborando a aquisição deste tipo de conhecimento, temos os dados já mencionados da *Tabela 7 – seção 4.3.1* –, que apresenta os dados extraídos das respostas dos alunos sobre a *Parte 1* da *Questão 1*. Estes dados mostram que 56% dos graduandos descreveram o experimento de forma satisfatória e 6% o fizeram de forma parcial. Assim, mais da metade dos alunos expressaram em suas respostas os elementos que a configuram como satisfatória: uma pena, ao ser aproximada da cortiça que tampava o tubo de vidro eletrizado (excitado por atrito), era atraída e repelida. Nesta resposta há duas idéias importantes: i) que a cortiça, conhecida como um material isolante, teve a eletricidade transmitida para ela, adquirindo a propriedade elétrica de atrair e repelir outros corpos, e ii) que a pena, também isolante, é atraída e repelida pela cortiça. O item (i) aponta explicitamente um material considerado como isolante se comportando como condutor, e o item (ii) faz isto de forma implícita, porque como já mencionamos, ao tocar o tubo eletrizado a penugem pode se comportar como um condutor (ver *Apêndice F*).

Agora, se tomarmos o caso específico da madeira (da cortiça, do barbante ou da pena) comportar-se como condutor é possível que haja *aprendizagem significativa subordinativa derivativa*, pois estes são exemplos de uma idéia mais geral (*i.e.*, que isolantes podem comportar-se como condutores), o que caracteriza a aprendizagem significativa subordinativa derivativa. A aquisição, pelos sujeitos da pesquisa, de conhecimentos relevantes para esta aprendizagem significativa é expressa pelos mesmos dados expostos nos parágrafos anteriores. Assim, quando o professor ministrar o conteúdo, inicialmente há possibilidade de ocorrer aprendizagem significativa subordinativa correlativa. Então, em um determinado momento do processo de aprendizagem os exemplos serão necessários, e o aluno já os possuirá em sua estrutura cognitiva, havendo assim a possibilidade da aprendizagem significativa subordinativa derivativa.

Há também o caso em que materiais conhecidos como isolantes se comportam como isolantes, *e.g.*, a seda⁵⁶. Este conhecimento pode ser passivo de *aprendizagem significativa subordinativa derivativa*, como mencionado no parágrafo anterior, pois pode compor um exemplo para o conteúdo ministrado posteriormente de que materiais isolantes podem se comportar de diferentes maneiras

⁵⁶ Provavelmente, a seda se comporta como isolante, neste caso, porque o potencial elétrico envolvido no experimento não era suficiente para promover a ruptura dielétrica.

quanto à condução elétrica, dependendo da diferença de potencial a que são submetidos. Um exemplo seria mostrar ao aluno que, em uma mesma situação, materiais conhecidos como isolantes se comportam de forma diferentes, *e.g.*, o barbante condutor e a seda isolante do experimento de Gray. Com relação a isto, a *Tabela 9 – seção 4.3.2 - itens 5 e 6* – mostra que aproximadamente 73% dos alunos que responderam a *Questão 2* mencionaram a seda como um suporte, sendo que este material era tido como isolante no experimento, porque permitiu a condução da eletricidade, ao contrário do suporte de metal. Somam-se a isso os dados já mencionados da *Tabela 9 – seção 4.3.2 - item 10* –, que mostram que 33% dos alunos que responderam a *Questão 2* mencionaram o barbante como linha de transmissão, ou seja, um material considerado isolante utilizado como condutor.

4.3.3 QUESTÃO 03

Du Fay fez vários experimentos sobre eletricidade e propôs dois princípios gerais que, segundo ele, regiam os fenômenos elétricos. Enuncie-os.

Comentários

Nas *Questões 3, 4 e 5* foram abordados elementos dos textos de Du Fay e Franklin com o intuito de fornecer subsunçores aos alunos para o conceito de *carga elétrica*. Os dois princípios de Du Fay sobre a eletricidade foram abordados no texto do *Apêndice D*, e dele podemos extrair os seguintes trechos:

TRECHO 6

[...] realizando o Experimento relatado por *Otho de Guericke* na sua Coleção de Experimentos *de Spatio Vácuo*, o qual consiste em eletrizar uma Bola de Enxofre para repelir uma Pena, eu percebi que o mesmo efeito foi produzido não somente pelo Tubo, mas por todos os corpos elétricos⁵⁷. Eu descobri um

⁵⁷ Gray e Du Fay utilizavam os termos *elétrico* e *não-elétrico* para designar o que, atualmente, são denominados materiais *isolantes* e *condutores*, respectivamente. Os termos *condutores* e *não-condutores* foram introduzidos posteriormente a eles, por Jean Theophilus Desaguliers (1683-1744). É importante destacar que os termos *elétrico* e *não-elétrico* foram propostos por William Gilbert (1540-1603), sendo que, elétricos eram os materiais que apresentavam a mesma propriedade do âmbar (do grego *elektron*) de atrair pequenos objetos quando atritado, e não-elétricos eram os

Princípio muito simples, que explica grande parte das irregularidades, e se eu puder usar o Termo, dos Caprichos que parecem acompanhar a maioria dos Experimentos em Eletricidade. Este princípio é: Corpos Elétricos atraem todos aqueles que não estão desta forma, e os repelem assim que eles tornam-se elétricos, pela Proximidade ou pelo Contato com o Corpo Elétrico. (BOSS; CALUZI, 2007, p. 642).

TRECHO 7

[...] por acaso, lançou-se em meu caminho outro Princípio, mais universal e extraordinário que o anterior, que lança uma nova luz sobre o tema Eletricidade. Este Princípio é: existem duas Eletricidades distintas, muito diferentes uma da outra, uma que eu chamo de *Eletricidade vítrea* (p. 264) e a outra de *Eletricidade resinosa*. A primeira é aquela do Vidro, Pedra-Cristal, Pedra Preciosa, Pelo de Animais, Lã e muitos outros corpos. A segunda é aquela do Âmbar, [resina] Copal, Goma-Laca, Seda, Linha, Papel, e um vasto número de outros Materiais. A característica dessas duas eletricidades é que um Corpo de *Eletricidade vítrea*, por Exemplo, repele todos aqueles que possuem a mesma Eletricidade, e ao contrário, atrai todos aqueles de *Eletricidade resinosa*. (BOSS; CALUZI, 2007, p. 643).

Sendo assim, uma resposta satisfatória para esta questão deveria conter os seguintes elementos: o primeiro princípio afirma que corpos eletrizados se repelem, e um corpo eletrizado atrai um corpo não-eletrizado (*Trecho 6*); o segundo, propõe a existência de duas eletricidades distintas (vítrea e resinosa), sendo que, corpos de mesma eletricidade se repelem e corpos com eletricidades diferentes se atraem (*Trecho 7*).

Destacamos, em ambos os princípios, o fenômeno da interação entre os corpos. No primeiro, a característica da interação é de que um corpo neutro e outro eletrizado se atraem e dois corpos eletrizados se repelem. No segundo, a interação se dá de forma diferente, pois Du Fay postula a existência de *duas eletricidades*, e a interação entre corpos que possuem a mesma eletricidade é repulsiva, e entre corpos de eletricidades diferentes é atrativa. Note que em ambos os princípios a atração se dá por corpos em “estados elétricos” distintos, e a repulsão se dá por corpos em “estados elétricos” iguais⁵⁸.

É importante destacar que no texto de Du Fay aparecem vários elementos que estavam presentes no texto de Gray e que foram alvo das discussões sobre o conceito de eletrização, *e.g.*, no início

materiais que não apresentavam tal característica. Quando Gray chega à conclusão de que existem materiais que podem conduzir a virtude elétrica e que há materiais que não a conduzem, estes termos passam a ter, também, outro significado, passando a designar, ainda, os materiais condutores (não-elétricos) e os não-condutores (elétricos).

⁵⁸ Primeiro princípio: estados elétricos – eletrizado e não-eletrizado. Segundo princípio: estados elétricos – eletrizado com eletricidade vítrea, eletrizado com eletricidade resinosa, e não-eletrizado.

do *Trecho 6* Du Fay menciona que o objetivo do experimento era eletrizar uma bola de enxofre para repelir uma pena e que o mesmo efeito ocorria com o tubo e outros corpos elétricos.

Resultados

Tabela 10 – Respostas à Questão 03 ⁵⁹

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Descreveu os dois princípios satisfatoriamente	66,7%
2. Descreveu apenas o segundo princípio satisfatoriamente	11,1%
3. Corpos com mesmas características se repelem e com características diferentes se atraem	55,5%
4. Descreveu de forma equivocada ⁶⁰	22,2%

Análises e Discussões

O foco da *Questão 3* são os dois princípios propostos por Du Fay para a eletricidade, os quais possuem elementos importantes que podem subsidiar a aprendizagem do conceito de *carga elétrica*. Como já foi visto, o primeiro princípio afirma que corpos eletrizados se repelem, e um corpo eletrizado atrai um corpo não-eletrizado. O segundo propõe a existência de duas eletricidades distintas (vítrea e resinosa), sendo que, corpos de mesma eletricidade se repelem e com eletricidades diferentes se atraem. Um importante aspecto em ambos os princípios é a interação atrativa/repulsiva, bem como as características (estados) elétricas dos corpos envolvidos, *i.e.*, não-eletrizados e eletrizados (com eletricidade vítrea ou resinosa). Vamos ver então, como o conceito de carga é definido e de que forma estes conhecimentos do texto histórico podem fornecer subsídios para a aprendizagem significativa.

Segundo Young e Freedman (2004, p. 01-2), não é possível dizer o que é a carga elétrica, mas é possível descrever seu comportamento e suas propriedades. A carga elétrica, tal como a massa, é

⁵⁹ Dos 33 graduandos, 09 optaram por responder esta questão.

⁶⁰ Por exemplo: “*Du Fay propôs dos tipos de eletricidade, uma de atração e uma repulsão.*” [A34]

uma das principais propriedades das partículas que constituem a matéria. Nussenzveig⁶¹ (2001, p. 03) afirma que o análogo da massa gravitacional, a carga elétrica, se manifesta de duas formas diferentes, que se convencionou chamar de *positiva* e *negativa*. Isso leva à possibilidade da *atração* e da *repulsão*, enquanto interações entre massas são sempre atrativas. Ou seja, a carga elétrica é uma propriedade intrínseca da matéria, que se apresenta na natureza de duas formas diferentes, convencionalmente chamadas de positiva (carga do próton) e negativa (carga do elétron). Uma característica importante da carga elétrica é a interação entre cargas. Pode ocorrer atração, se forem cargas de naturezas distintas (*e.g.*, positiva e negativa), ou repulsão se forem cargas de mesma natureza (*e.g.*, positiva e positiva). Entendemos que a discussão de Du Fay sobre as propriedades da *eletricidade* em sua teoria são subsunções para o conteúdo ministrado posteriormente sobre carga elétrica.

Note que, na teoria de Du Fay, a atração ocorre sempre entre corpos em “estados elétricos” distintos – (i) eletrizado e não-eletrizado ou (ii) eletrizado com eletricidade vítrea e eletrizado com eletricidade resinosa. A repulsão, por sua vez, ocorre entre corpos com mesmo “estado elétrico” - eletrizado com eletricidade vítrea e eletrizado com eletricidade vítrea, sendo que ocorre o mesmo para a eletricidade resinosa. Na medida em que o aluno adquire os conhecimentos referentes a estas características da interação repulsiva/atrativa entre dois corpos, ele adquire atributos essenciais do conceito de carga elétrica. No momento em que o conteúdo sobre carga for ministrado, aqueles atributos presentes na estrutura cognitiva do aprendiz podem ser reunidos sob uma definição mais geral de carga, como aquela mencionada por Young e Freedman (2004) e Nussenzveig (2001). Desta forma, conhecimentos mais específicos e relevantes são subordinados ao material de aprendizagem mais geral e inclusivo, podendo ocorrer a *aprendizagem significativa superordenada*.

Nossos dados mostram – *Tabela 10 - seção 4.3.3* – que aproximadamente 78% dos alunos que optaram por responder esta questão descreveram satisfatoriamente o segundo princípio. Isso evidencia que a maioria dos alunos possui o conhecimento de que Du Fay postulou a existência de duas eletricidades distintas. Mostra ainda, que 55% dos alunos expressaram em suas respostas o fato de que corpos com mesmas características (estados) elétricas se repelem e com características diferentes se atraem. Estes dados mostram que, pelo menos, pouco mais da metade dos graduandos que responderam esta questão tem conhecimentos que são atributos

⁶¹ Livro texto adotado no curso de Física Geral III.

essenciais do conceito de carga. Deste modo, podemos deduzir que possuem idéias relevantes em sua estrutura cognitiva para subsidiar a aprendizagem significativa superordenada.

Entretanto, a *Tabela 5 – seção 4.2.4* – mostra que, ao responderem o questionário de avaliação dos conhecimentos prévios, 79% dos alunos mencionaram que *cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais diferentes se atraem*, e 15% mencionaram que *cargas diferentes se atraem*. Sendo assim, a maioria dos alunos já possuía os conhecimentos elencados no parágrafo anterior quando ingressaram no curso de Física Geral III. Temos, então, dois comentários para fazer a respeito.

Primeiro, é importante a discussão dos elementos do texto de Du Fay apresentados no parágrafo anterior, pois, segundo a teoria de Ausubel, tais discussões podem auxiliar o aluno a reconhecer quais elementos do futuro conteúdo podem ser significativamente aprendidos e relacioná-los a aspectos relevantes de sua estrutura cognitiva (AUSUBEL et al., 1980, p. 143; AUSUBEL, 2003, p. 66; MOREIRA; MASINI, 1982, p. 11). Isto é importante no processo ensino-aprendizagem, pois se o aprendiz possui um conhecimento relevante, mas a ele não é dada a relevância necessária, é provável que não ocorra a aprendizagem significativa. Lembramos ainda, que um dos objetivos de um organizador prévio é a interação entre aquilo que o aluno já sabe e o próprio organizador, além da interação entre o organizador e o novo conteúdo (AUSUBEL, 2003, p. 66).

Segundo: parece-nos que as respostas dadas pelos alunos para a *Questão 4 – seção 4.2.4* – são mnemônicas, os alunos apenas têm decorado que cargas iguais se repelem e cargas diferentes se atraem. Esta impressão emerge das próprias respostas dos alunos, da forma como eles responderam à questão, e.g., [Al. 03] *Sim, porque cargas opostas se atraem e cargas iguais se repelem*; [Al. 12] *Sim, por cargas opostas se atraem e cargas iguais se repelem*. Somado a isto, nos intriga o fato de que, nas respostas à *Questão 1* do questionário de conhecimentos prévios, sobre carga elétrica, *Tabela 01 – seção 4.2.1* –, nenhum aluno apontou as características da interação entre cargas iguais e diferentes, nem mesmo os 9% que relacionaram a carga com a propriedade atrativa/repulsiva. Assim, a impressão que temos é que os alunos sabem que cargas elétricas diferentes se atraem e que cargas iguais se repelem, mas não associam isto a uma propriedade importante das cargas elétricas. Com isto, a discussão do texto de Du Fay, mais do que mobilizar os conhecimentos adquiridos anteriormente, tem condições de apontar para esta importante característica das cargas elétricas, para a essência da interação repulsiva/atrativa, e evidenciá-la como uma propriedade que advém do fato de as cargas existirem na natureza de duas formas distintas, com

características intrínsecas distintas. Uma discussão mais detalhada sobre este assunto será feita na questão seguinte (*Questão 4 do Questionário 2*).

No *Quadro 3 – seção 4.1 - item 3* –, são mencionados alguns conhecimentos e habilidades necessários para o entendimento do conceito de carga elétrica, e na medida em que tais idéias são necessárias para a compreensão do conceito, as consideramos como subsunções. O primeiro tópico menciona que é importante o aluno *aceitar que a matéria tem uma propriedade que se apresenta de duas formas distintas*. É possível evidenciar esta idéia com as discussões sobre o segundo princípio. Dos nossos dados, quase 78% dos alunos que responderam esta questão descreveram de forma satisfatória o segundo princípio. Portanto, estes alunos adquiriram um conhecimento que posteriormente pode subsidiar a idéia do tópico mencionado acima. Um outro tópico do *Quadro 3* reporta a seguinte idéia: *a propriedade que se apresenta de duas formas distintas (a carga elétrica) é o que leva a possibilidade da interação atrativa/repulsiva da matéria*, a qual também pode ser evidenciada com as discussões sobre o segundo princípio. O segundo princípio é uma forma de o professor mostrar, ao ministrar o conteúdo subsequente, que a carga elétrica, aqui representada pelas eletricidades de Du Fay, é a responsável *pela interação atrativa/repulsiva da matéria*, uma vez que, antes de os corpos estarem eletrizados não se verifica o efeito de atração/repulsão. Lembramos que, em nossas discussões dos excertos históricos com os alunos, procurávamos entender o texto do ponto de vista dos elementos conceituais presentes no texto. Ou seja, discutimos a interação atrativa/repulsiva com base nas eletricidades vítrea e resinosa e não com base no conceito de carga elétrica.

Um fato que nos chamou a atenção foram respostas dadas por dois alunos às questões 3 e 5, respectivamente: [Al. 34] “*Du Fay propôs dois tipos de eletricidade uma de atração e outra de repulsão.*”; e [Al. 05] “*... Du Fay percebe que a eletricidade vítrea tinha tendência de atração e que a eletricidade resinosa tinha tendência de se repelirem*”. Isto não é verdade. Du Fay, em momento algum, define as eletricidades em termos de atração e repulsão (ou eletricidade atrativa e eletricidade repulsiva), o que fica evidente no *Trecho 2 da seção 4.3.3*, em que ele diz: “*Ambos os grupos [de eletricidade vítrea e resinosa] repelem os corpos que contrairam uma eletricidade de mesma natureza que as suas. Eles atraem, ao contrário, aqueles cuja eletricidade é de uma natureza diferente das suas.*”. Portanto, a atração e a repulsão são definidas em termos da interação entre os corpos dotados com as eletricidades. Não se trata de uma propriedade das eletricidades. As respostas dos alunos nos chamam a atenção porque, em uma publicação nossa que analisa parte do conteúdo histórico de eletrostática em livros didáticos do Ensino Médio (GUÇÃO et al., 2008), consta o seguinte erro veiculado por um livro didático:

“[...] na França o cientista Charles François Du Fay (1698-1739) constatava a existência de dois tipos de eletricidade: uma atrativa, outra repulsiva.”. Ou seja, as respostas dos alunos são exatamente iguais ao que consta no livro didático. Não podemos afirmar que os alunos tenham estudado com este livro ou tenham adquirido tal conhecimento em livros didáticos de Ensino Médio. Mas, em nosso *caderno de notas* consta a anotação de que um aluno, no dia da aplicação do *Questionário 2*, reportou, em uma conversa informal, que alguns colegas haviam estudado para o trabalho⁶² em livros didáticos do Ensino Médio. Tal aluno mencionou, inclusive, que achava isto um equívoco, tendo em vista que na disciplina de História da Ciência, que ocorreu concomitantemente a disciplina Física III, já havia sido discutido alguns erros de História da Ciência veiculados em livros didáticos. Portanto, há a possibilidade de os alunos terem adquirido tal conhecimento em um livro didático. Aproveitamos para chamar a atenção para o fato de que a História da Ciência, quando apresentada de forma equivocada, tal como ocorre em alguns livros didáticos, tanto de Ensino Médio quanto Superior, pode ser nociva ao processo ensino-aprendizagem. Alguns desses equívocos podem ser vistos em (CALUZI, et al., 2007; GUÇÃO et al., 2008).

Além disso, um outro importante aspecto da discussão do texto de Du Fay é o fato de aparecerem vários elementos que estavam presentes no texto de Gray e que foram alvo das discussões sobre o conceito de eletrização. No texto há menção a objetos diferentes que são eletrizados por atrito, como resina, goma-copal, bola de enxofre, os detectores são utilizados em situações diferentes das anteriores, em experimentos diferentes. Isto nos é importante porque foi possível colocar em prática o princípio da *reconciliação integrativa*, procurando evitar a compartimentalização das idéias ou situações únicas. Os tópicos foram apresentados em mais de um contexto, durante as discussões, procuramos apontar e estabelecer conexões entre idéias relacionadas (AUSUBEL et al., 1980, p. 161; AUSUBEL, 2003, p. 168). Isto foi feito com o intuito de colocar em prática alguns dos princípios da própria teoria de aprendizagem que subsidia esta pesquisa.

4.3.4 QUESTÃO 04

Descreva o experimento realizado por Du Fay que deu origem ao segundo princípio e comente-o. Explique também por que não é possível explicá-lo por meio do primeiro princípio.

⁶² Pois o *Questionário 2* foi um *trabalho* para nota da disciplina Física Geral III.

Comentários

O experimento realizado por Du Fay que deu origem ao segundo princípio foi abordado no texto do *Apêndice D*, e dele podemos extrair o seguinte trecho:

Tendo elevado ao ar uma folha de ouro por meio do tubo, eu aproximei dela um pedaço de goma *copal* atritado e eletrizado. A folha interagiu com o campo [foi atraída] e ali permaneceu. Eu confesso que esperava um efeito completamente contrário, porque segundo meu raciocínio, a *copal*, que estava eletrizada, deveria repelir a folha que também estava eletrizada. Eu repeti a experiência um grande número de vezes acreditando que eu não apresentava à folha o lugar que havia sido atritado [na *copal*]. Dessa forma, ela não se comportava como ela o faria em relação ao meu dedo ou a qualquer outro corpo, mas tendo feito sobre ela todas as minhas medidas, de maneira a não restar qualquer dúvida, eu me dei por convencido que a *copal* atraía a folha de ouro, ainda que ela tenha sido repelida pelo tubo. A mesma coisa acontecia ao aproximar a folha de ouro de um pedaço de âmbar ou de cera d'Espanha atritada. (DU FAY, 1733).

TRECHO 8 [...]

Aqui estão, portanto, duas eletricidades de naturezas completamente diferentes: aquela dos corpos transparentes e sólidos, como o vidro, o cristal e aquela dos corpos betuminosos e resinosos como o âmbar, a goma *copal*, e a cera d'Espanha. Ambos os grupos repelem os corpos que contraíram uma eletricidade de mesma natureza que as suas. Eles atraem, ao contrário, aqueles cuja eletricidade é de uma natureza diferente das suas. Nós acabamos de ver, até mesmo, que os corpos que não são eletrizados, podem adquirir cada uma dessas eletricidades e que, então, seus efeitos são parecidos àqueles efeitos dos corpos que os comunicaram a eles. (DU FAY, 1733).

Esta citação descreve como se deu o experimento realizado por Du Fay. Sendo assim, uma resposta satisfatória para esta questão deveria conter os seguintes elementos: uma folha (lâmina) de ouro, eletrizada por interagir com um tubo de vidro eletrizado, ao ser aproximada de um pedaço de resina *copal* eletrizado, foi atraída por ela. Isso não poderia ser explicado pelo primeiro princípio, porque este determinava que a interação entre dois corpos eletrizados seria sempre repulsiva.

Resultados

Tabela 11 – Respostas à Questão 04 ⁶³

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Descreveu de forma satisfatória	57,2%
2. Descreveu de forma equivocada	42,8%

Análises e Discussões

A discussão do experimento realizado por Du Fay que culminou na proposição do segundo princípio evidencia uma importante característica das cargas elétricas, a interação repulsiva/atrativa. Isso é possível devido às cargas existirem na natureza de duas formas distintas, com características distintas. É importante observar como Du Fay, a partir da observação de um fenômeno, propõe a existência de dois tipos diferentes de eletricidade. O texto apresenta de que forma, *como*, ele chegou a esta conclusão. Os princípios são propostos para tentar explicar fenômenos elétricos observados por Du Fay, sendo que o segundo (a proposição das duas eletricidades) vem para *resolver um “problema”* que o primeiro não solucionava: a interação entre corpos eletrizados pode ser tanto atrativa quanto repulsiva, como isto poderia ser explicado? (BOSS; CALUZI, 2007, p. 639). Como já discutimos em outros momentos, entender aspectos históricos de *como* um conceito foi proposto e o *porquê*, pode auxiliar no entendimento conceitual. Sendo, desta forma, elementos que poderão contribuir para a aprendizagem significativa (DIAS, 2001, p. 226; DIAS; SANTOS, 2003, p. 1616).

A Física não é trivial em sua essência, como bem destaca a Professora Penha M. C. Dias. Olhar para a Física como um monte de regras e equações a serem decoradas, tratar detalhes fundamentais como um mero detalhe, apenas contribui para que o aluno não perceba a essência desta Ciência. Em nossa opinião, sem olhar para os detalhes fundamentais, sem reconhecê-los e entendê-los, não é possível compreender conceitos de áreas da Física, como a Relatividade, ou a Mecânica Quântica. Por isso, a discussão de como Du Fay propôs a existência de duas

⁶³ Dos 33 graduandos, 07 optaram por responder esta questão.

eletricidades é importante, para chamar a atenção para propriedades fundamentais da carga elétrica. Além disso, para mostrar aos alunos a importância dos detalhes, e para mostrar também que a beleza da Física não está apenas no elegante formalismo matemático da Mecânica Quântica. Não podemos olhar friamente para os dados que dizem o que a maioria dos alunos já sabia ao ingressar na universidade (que cargas iguais se repelem e diferentes se atraem), e acreditar que esta questão está resolvida, como mostra a *Tabela 05 – seção 4.2.4*.

No *Quadro 3 – seção 4.1 – item 3*, consta que um dos conhecimentos e habilidades necessários para o entendimento do conceito de carga elétrica é: *saber que há um princípio empírico de que cargas de mesmo tipo se repelem e de tipos diferentes se atraem*. Este princípio empírico é a essência da discussão sobre o segundo princípio de Du Fay e do experimento que o levou à sua proposição. Se o aluno passa a conhecer o segundo princípio de Du Fay, no momento em que o professor for ministrar o conteúdo é possível que ocorra aprendizagem *significativa representacional*, na medida em que o segundo princípio pode ser associado ao princípio empírico de que cargas diferentes se atraem. No entanto, esta aprendizagem vai além de nomear o segundo princípio como um princípio empírico, pois o aluno poderá ter a compreensão de como é possível chegar a ele. Isso, se o aprendiz compreender o que fora discutido no texto histórico. A *Tabela 11* mostra que quase 57% dos alunos que responderam esta questão descreveram satisfatoriamente o experimento e que 43% descreveram de forma equivocada. Com isto, mais da metade dos alunos adquiriu conhecimentos que podem subsidiar a aprendizagem subsequente do conceito de carga elétrica, o que poderia contribuir para que eles não apenas decorem uma regra que diz: “cargas iguais se repelem e cargas diferentes se atraem”.

4.3.5 QUESTÃO 05

Benjamim Franklin propôs uma teoria para eletricidade. Faça um resumo desta teoria e explique no que ela difere da teoria de Du Fay.

Comentários

A teoria de Franklin foi abordada no texto do *Apêndice E*, e dele podemos extrair o seguinte trecho:

TRECHO 9

[...] nós supomos, como citado anteriormente, que o fogo elétrico é um elemento comum, do qual todas as três pessoas, acima mencionadas, o tem em quantidade igual antes de começar qualquer operação com o tubo. **A**, a qual está em pé sobre a cera e atrita o tubo, coleta o seu fogo elétrico dentro do vidro; e, [devido à] sua comunicação com o estoque comum (Terra) estar interrompida pela cera, seu corpo não é nova e imediatamente abastecido. **B** (que também está em pé sobre cera), passando o seu dedo ao longo do tubo e próximo a ele, recebe o fogo que foi coletado pelo vidro de **A**; e [devido à] comunicação dele (**B**) com o estoque comum estar igualmente interrompida, ele retém a quantidade adicional recebida. Para **C**, estando em pé sobre o solo, ambos parecem estar eletrizados; para ele, tendo apenas a metade da quantidade de fogo elétrico, recebe uma faísca ao aproximar-se de **B**, que tem maior quantidade; mas dá uma [faísca] para **A**, que tem em menor quantidade. (FRANKLIN, 1747).

Este fragmento do texto de Franklin exemplifica bem a sua teoria. Uma resposta satisfatória para a *Questão 5* deveria conter os seguintes elementos: Franklin propôs uma teoria para eletricidade em que havia um único fluido elétrico, podendo um corpo, por meio da interação com outros corpos, perder ou ganhar fluido elétrico. Ficando eletrizado, respectivamente, negativamente ou positivamente. A teoria de Franklin difere da teoria de Du Fay na medida em que esta propõe dois tipos distintos de eletricidade e a de Franklin propõe um único fluido elétrico.

Destacamos deste trecho do texto de Franklin o fato de um corpo ganhar ou perder fluido elétrico quando interage com outro corpo, sendo que ele se conserva, pois sempre vai de um corpo para outro, ou para a terra. A questão da conservação não está explícita neste texto de Franklin, mas é possível discuti-la com base nos elementos do texto.

Resultados

Tabela 12 – Respostas à Questão 05 ⁶⁴

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. Descreveu satisfatoriamente a teoria	62,5%
2. Descreveu parcialmente a teoria	6,3%
3. Descreveu a teoria de forma equivocada	31,3%
4. Corpos com mesmas características se repelem e com características diferentes se atraem	31,3%
5. Comparou as teorias corretamente	62,5%
6. Menciona a conservação da eletricidade	6,3%
7. Menciona ceder/receber fluido elétrico ou mais/menos eletrizado	62,5%

Análises e Discussões

Esta questão trata da teoria do fluido único de Franklin e faz um contraponto com a teoria das duas eletricidades de Du Fay. Uma idéia importante da teoria de Franklin é a de que, na eletrização, sempre há perda e ganho de eletricidade concomitantemente entre os corpos. O fluido que um corpo perde o outro recebe, ou seja, a eletricidade não desaparece no processo. Esta idéia pode ser um subsídio para a aprendizagem significativa do princípio da *conservação da carga elétrica*, uma vez que ela é a essência do conceito e pode ser denominada de princípio da conservação da carga elétrica, ocorrendo então a *aprendizagem representacional*. Então, este conhecimento pode ser diferenciado em termos de alguns aspectos mais específicos. Por exemplo, os corpos podem perder ou ganhar cargas negativas (ânions e elétrons) e cargas positivas (cátions), mas, nesse processo, a quantidade de carga que o primeiro corpo perde o outro corpo ganha, e vice-versa. Assim, a carga total é conservada, porque a quantidade total de carga após a interação entre os corpos é a mesma.

⁶⁴ Dos 33 graduandos, 16 optaram por responder esta questão.

Alguns poderiam ver problema no fato de que estamos utilizando uma teoria de fluido único para subsidiar a aprendizagem de um conceito de uma teoria de duas cargas elétricas. Mas, a idéia central é tratada em termos de a eletricidade ir de um corpo para outro, de um corpo ganhar e o outro perder eletricidade simultaneamente. Portanto, o ponto chave da questão é este atributo comum entre as duas teorias.

A *Tabela 12 – seção 4.3.5* – mostra que 62% dos alunos que optaram por responder esta questão mencionaram o fato de um corpo ceder/receber fluido elétrico ou estar mais/menos eletrizado. Isso demonstra que mais da metade dos alunos adquiriu conhecimentos que podem subsidiar a aprendizagem significativa do princípio de conservação da carga elétrica.

Os conhecimentos adquiridos com as discussões dos textos de Du Fay e Franklin podem contribuir também com a *significação potencial* do novo material de aprendizagem, já que esta depende também da estrutura cognitiva do aprendiz e depende da *disponibilidade de conteúdo relevante* na estrutura de conhecimento de cada aluno. Então, é importante que tais conhecimentos adquiridos com os textos estejam disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos para satisfazer a função de subsunção e ancoragem. (AUSUBEL et al., 1980, p. 37; AUSUBEL, 2003, p. 74). Desta forma, há melhores condições cognitivas para a aquisição de significado psicológico (verdadeiro). Podem contribuir também com a não-elevação do *limiar de disponibilidade*, na medida em que auxilia a evitar o choque de aprendizagem inicial em relação o princípio de conservação da carga elétrica.

4.3.6 QUESTÃO 06

Em termos da teoria de eletricidade de Benjamin Franklin, como você pode explicar a seguinte afirmação: *ao atritar um tubo de vidro ele fica eletrizado*.

Comentários

A teoria de Franklin foi abordada no texto do *Apêndice E*, do qual podemos extrair o seguinte trecho:

Para eletrizar *mais* ou *menos*, nada mais precisa ser conhecido do que isto: que a parte do tubo ou esfera que é tocada, faz, no momento do atrito, [a] extração o fogo elétrico, e por esse motivo retira-o da coisa que o atrita; as mesmas partes, quando o atrito sobre elas cessa, estão imediatamente dispostas a dar o fogo que receberam para algum corpo que possua menos. (FRANKLIN, 1747).

No trecho acima, Franklin reporta como se deve proceder para eletrizar um tubo de vidro, ou seja, ao atritar o tubo, a pessoa que o atrita forneceria fluido elétrico para o tubo, eletrizando-o *mais*. Franklin utiliza as expressões *eletrizar mais* e *eletrizar menos* porque, devido à sua teoria do fluido único, um corpo eletrizado poderia ter mais ou menos fluido do que a quantidade comum, uma vez que todos os corpos possuiriam uma quantidade comum de fluido elétrico.

Resultados

Tabela 13 – Respostas à Questão 06 ⁶⁵

RESPOSTAS	PORCENTAGEM DE ALUNOS
1. O tubo de vidro ganha ou perde fluido elétrico com o atrito	42,9 %
2. Fica eletrizado <i>mais</i> ou <i>menos</i> ⁶⁶	35,7 %
3. Não atingiu o objetivo ⁶⁷	57,1 %

⁶⁵ Dos 33 graduandos, 14 optaram por responder esta questão.

⁶⁶ Dos 06 alunos (42,9 %) que se enquadram na *categoria 1*, 5 (35,7 %) deles se enquadram na *categoria 2*.

⁶⁷ Dos 08 alunos (57,1 %) que se enquadram na *categoria 3*, 2 deles responderam a questão por meio da forma “atual” de se explicar o fenômeno; 2 deles explicaram o fenômeno de forma satisfatória, mas utilizaram o termo *carga elétrica* no lugar de *fluido elétrico*, o que nos impede de considerar a resposta.

Análises e Discussões

O *Quadro 3 – item 1.1* reporta que um conhecimento importante que o aluno precisa ter, sobre o fenômeno de eletrização por contato (atrito), é saber que a matéria é elétrica, *i.g.*, possui cargas elétricas. A partir disso, a eletrização por contato se explica como um processo que promove a troca de cargas entre os corpos atritados. Com o texto de Franklin é possível discutir o fato de uma pessoa (A) fornecer fluido elétrico para o tubo de vidro e este fornecer o fluido para outra pessoa (B). Nesta teoria, a eletrização se dá por um processo que causa um desequilíbrio na quantidade de fluido elétrico de um corpo. Ou seja, ele possui uma determinada “quantidade comum” de fluido elétrico, na medida em que ele perde ou ganha fluido, ele passa a estar eletrizado. Por meio desta discussão o aluno pode adquirir a idéia de que a matéria é elétrica, porque possui algum “ente elétrico”, e que pode ser trocado entre os corpos por meio de atrito. Consideramos estas idéias como conhecimentos mais gerais e inclusivos, que podem ser diferenciados em termos de elementos mais específicos do conceito de eletrização, no momento da formalização do conceito pelo professor.

Atualmente, se explica a eletrização por contato como um processo que gera certo desequilíbrio na quantidade de cargas positivas e negativas no material, podendo haver perda ou ganho de cargas positivas (cátions) ou negativas (elétrons e/ou ânions). Desta forma, o conhecimento mais geral e inclusivo de que *a matéria é elétrica porque possui algum “ente elétrico”* pode ser diferenciado em relação a elementos como: os “entes elétricos” são dotados de uma propriedade chamada carga elétrica. Esta propriedade existe de duas formas distintas, que são denominadas de positivas e negativas, dentre tais entes é possível destacar os elétrons, os prótons e os íons. Já a idéia de que *o “ente elétrico” pode ser trocado entre os corpos por meio de atrito* pode ser diferenciado em termos de elementos como: o atrito é um processo físico que altera a quantidade de cargas no material. O corpo é considerado eletrizado na medida em que tem excesso de um ou outro tipo de carga; e por isto o material pode ficar carregado positivamente (se houver predomínio de cargas positivas) ou negativamente (se houver predomínio de cargas negativas). Desta forma, é possível a ocorrência da *aprendizagem significativa subordinativa correlativa*, pois os elementos diferenciadores são *modificações* ou *qualificações* das idéias mais gerais. Contudo, poderia ocorrer a *diferenciação progressiva*, pois o aluno possuiria um conhecimento mais geral e inclusivo sobre o conceito de eletrização, que pode ser diferenciado em relação a outros elementos do conceito.

Chamamos a atenção para o fato de que, no momento de ministrar o conteúdo específico, após o trabalho com o texto histórico, o professor precisa, necessariamente, promover, além da diferenciação progressiva, a *reconciliação integrativa*. É no processo de reconciliação integrativa que o professor deve destacar as idéias que os alunos adquiriram com os textos históricos e promover a (re)combinação dos elementos já presentes na estrutura cognitiva com aqueles que estão sendo ministrados. Não podemos partir do pressuposto de que os aprendizes farão todas as relações entre aqueles conhecimentos que, de alguma forma, se relacionam. O professor deve explorar de forma explícita tais relações, ressaltando as semelhanças e as diferenças significativas, discutindo as inconsistências e integrando as idéias relacionadas. (AUSUBEL et al., 1980, p. 161; AUSUBEL, 2003, p. 168).

Sobre isso, podemos dar o seguinte exemplo: o conhecimento mais geral obtido com o texto de Franklin é que a eletrização se dá pela retirada ou pela inserção de algo elétrico no material. Ao ministrar o conteúdo esta idéia será retomada e diferenciada em termos do conhecimento atualmente aceito. Ou seja, que o atrito retira ou coloca “entes elétricos” no material, que são dotados de carga elétrica e que podem ser íons ou elétrons. Entretanto, é preciso que o professor discuta com os alunos o fato de a teoria de Franklin ser definida sobre um único tipo de eletricidade (teoria do fluido único) e o fato de que atualmente são aceitos dois tipos de cargas elétricas. Também é preciso destacar que, para Franklin, o corpo carregado positivamente possuía excesso de fluido. Contudo, atualmente o corpo carregado positivamente possui excesso de cargas positivas, entre outros contrapontos que devem ser feitos para que o aluno não tenha em sua estrutura cognitiva conhecimentos estanques. Ou seja, aqueles provenientes de textos históricos totalmente desvinculados daqueles oriundos da aula do professor. Estas discussões e contrapontos auxiliam a evitar que conhecimentos adquiridos previamente, e que podem ser utilizados como base para subsunção, sejam esquecidos. Isso acabaria estimulando o aluno à aprendizagem mecânica. Também ajudam a evitar confusões cognitivas, ou seja, que o estudante confunda e misture aquilo que ele já possui com aquilo que está aprendendo, o que, com certeza, seria um forte empecilho para a aprendizagem significativa.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As primeiras considerações versam sobre aspectos do trabalho com textos históricos em sala de aula. O primeiro aspecto é a linguagem das fontes primárias, em particular dos artigos que nós utilizamos – publicados em meados do século XVIII. A linguagem empregada é um tanto quanto difícil e exige do leitor certa familiaridade com os textos e suas características, para que possam ser entendidos. Da mesma forma, para que a tradução possa ser feita de forma a mais clara possível, o tradutor precisa desta familiaridade. Mesmo assim, em determinados momentos, a linguagem da tradução fica atípica em relação à escrita contemporânea. Isso acontece devido às próprias características e peculiaridades da escrita da época. Como exemplo desta dificuldade para lidar com fontes primárias, é possível citar os textos de Stephen Gray. A menos do ponto final, seus manuscritos não possuem pontuação alguma. Algumas vezes, o editor do periódico *Philosophical Transactions* organizava seus artigos para deixar o conteúdo mais claro. No entanto, esta deficiência ocasional não ofusca a precisão e a lógica do pensamento de Gray. Segundo Clark e Murdin (1979), não havia na época um importante dicionário, e a grafia Inglesa era mais uma questão de gosto pessoal. (CLARK; MURDIN, 1979, p. 359). É possível verificar as peculiaridades da escrita de Gray em dois interessantes artigos de Robert Chipman (1954, 1958) em que são publicadas transcrições de alguns de seus manuscritos de Gray.

O fato de a linguagem da tradução, em alguns momentos, acabar sendo atípica implica certa dificuldade de leitura e entendimento para os leitores não acostumados com aquela linguagem, ou com o próprio texto. Isto nos é bastante claro, pela própria experiência em trabalhar com fontes primárias. Não apenas com leituras dos originais e traduções nossas, mas também com a leitura de traduções de outros pesquisadores, e não é raro nos depararmos com traduções que exigem certo esforço para que possam ser compreendidas. Nas leituras e discussões dos textos históricos em sala de aula percebemos que, em alguns momentos, os alunos também apresentavam esta dificuldade, tendo em vista as perguntas feitas ao pesquisador. Concluimos desta forma, que trabalhar e inserir fontes primárias em sala de aula pode não ter relevância alguma para o processo ensino-aprendizagem se determinados cuidados com relação aos textos, as discussões e as explicações não forem tomados. Alterar substancialmente as características lingüísticas dos artigos originais é bastante difícil, e nem sempre é válido. A facilitação do processo deve ficar por conta do professor, que precisa ter bom domínio das fontes para poder fazer os esclarecimentos e as relações possíveis e necessárias. E isto é imprescindível, porque se o aluno não entender

aquilo que está lendo, a chance de adquirir conhecimentos relevantes que subsidiem a aprendizagem subsequente é bastante pequena, para não dizer nenhuma. Podemos dizer que os alunos não possuem todos os subsunçores necessários para o entendimento dos textos. Por isso, a mediação do professor é imprescindível para o trabalho com fontes primárias em sala de aula. Ele é quem vai suprir esta falta, propiciando a compreensão do texto e, conseqüentemente, a aquisição de subsunçores para novos conteúdos.

Ainda com relação aos textos históricos, nos ficou bastante claro que, para se trabalhar com fontes primárias, o professor precisa ter, obrigatoriamente, um bom domínio do conteúdo específico de Física presente nos textos⁶⁸. Este domínio do conteúdo permite, não só a compreensão do artigo original, como também montar as explicações e tornar mais claros os pontos do texto que são mais difíceis de serem entendidos. Desse modo, é capaz de suprir algumas dificuldades que podem ser impostas pela linguagem, ou mesmo pelo próprio conteúdo. A conclusão direta e óbvia disto é que, sem um domínio bastante bom do conteúdo específico, é muito difícil qualquer trabalho com textos históricos de fonte primária em sala de aula. Ressaltamos ainda, que se o professor não conseguir tornar claro para o aluno aquilo que ele está lendo, há chances de isso desmotivar os aprendizes e gerar uma pré-disposição contrária à utilização deste tipo de material. Na Introdução deste trabalho, fizemos alguns apontamentos sobre possíveis contribuições da História da Ciência para o ensino de Ciências. No entanto, não podemos nos iludir e pensar que trabalhar com a História da Ciência é algo fácil, porque não é. Não queremos com isso, desestimular o uso da História da Ciência no ensino, mas chamar a atenção, além dos benefícios, para as dificuldades.

Poderíamos ser questionados se, ao discutir os textos históricos, os alunos já não estariam aprendendo os próprios conceitos em vez de adquirir subsunçores. Por exemplo, no caso do conceito de carga elétrica, em que não é possível dizer o que é carga, apenas descrever suas propriedades. Ao discutir o texto de Du Fay e as propriedades das eletrícidades, os alunos já estariam adquirindo o conceito e não subsunçores para a aprendizagem dele. Quanto a isso, entendemos que, para aquele que já compreende o conceito, *e.g.*, o professor, é possível identificá-lo nos textos históricos. Mas, para o aluno que não tem o conceito a História da Ciência é apenas a História da Ciência. Isto acontece porque o *caminho cognitivo* que a pessoa que tem o conceito percorre para percebê-lo, no texto histórico, está carregado de conhecimentos que

⁶⁸ Restringimo-nos a falar da Física, porque é área com que temos trabalhado, as outras áreas tem suas peculiaridades que não nos são familiares.

o aluno não tem. Principalmente, o *texto histórico* não tem. Ou seja, o conceito não está no texto, está em *quem lê* o texto. É por isto que, em nosso ponto de vista, não é possível adquirir o conceito com o texto histórico, é apenas possível adquirir elementos, idéias, conhecimentos que podem subsidiar a aprendizagem significativa em um momento posterior. A menos que o texto estudado seja exatamente aquele em que é dada a definição aceita atualmente para o conceito. Sendo assim, em um momento posterior ao estudo da História da Ciência, o professor deverá ministrar e sistematizar o conceito da forma como ele é definido atualmente. Neste momento, é que os subsunçores adquiridos com os textos históricos serão destacados para a aprendizagem. O conhecimento é uma construção humana dinâmica, por isso, os conceitos mudam ao longo da história. Desta forma, falar que o aluno adquire um “conceito atual” em um texto do século XVIII seria, sob nosso ponto de vista, anacronismo.

A discussão feita no parágrafo anterior serve para explicar porque constantemente solicitávamos aos alunos que discutissem os textos com os termos encontrados neles. Era importante que não utilizassem termos “modernos”, porque o exercício, naquele momento, era entender o texto do ponto de vista dos argumentos, elementos e idéias do próprio texto. É a partir desta compreensão que entendemos que os alunos podem adquirir os subsunçores para aprendizagem posterior. Inclusive, no início do *Questionário 2*, há o seguinte aviso: *Prezado Aluno, ao responder as perguntas sobre os textos de História da Ciência utilize os termos referentes aos textos, procure não utilizar termos e conhecimentos “modernos”*. É claro que isso é algo que, no início do trabalho, é bastante difícil. Até o aluno se acostumar com os termos dos textos e entender a importância de não utilizar termos “modernos” leva certo tempo. E por isso, em algumas respostas, eles utilizavam, por exemplo, *carga elétrica* para se referir ao *fluido elétrico*. Quando isso ocorreu, a resposta foi categorizada como *não atingiu o objetivo*. Porque uma limitação deste trabalho foi ter tido, apenas, o questionário para avaliar a aquisição dos subsunçores. Quando o aluno utiliza termos de forma anacrônica, ele nos impede de inferir qualquer coisa sobre a aquisição de determinada idéia. Em uma situação de entrevista semi-estruturada, por exemplo, seria possível verificar se aluno se confundiu, ou se, de fato, não adquiriu a idéia, o que não foi realizado neste trabalho.

De forma geral, as discussões de fragmentos de textos de fonte primária em sala de aula, antes de o material de aprendizagem ser ministrado, forneceram alguns conhecimentos importantes e relevantes. Desse modo, poderiam subsidiar a aprendizagem significativa dos conceitos para parte dos sujeitos da pesquisa. Os textos forneceram conhecimentos mais gerais e inclusivos em alguns momentos, propiciando condições cognitivas para a aprendizagem significativa subordinativa

correlativa. Forneceram conhecimentos mais diferenciados, propiciando condições para a aprendizagem significativa superordenada; forneceram exemplos que podem auxiliar na aprendizagem significativa subordinativa derivativa. Também proporcionaram conhecimentos passivos de aprendizagem significativa representacional. Os dados mostram ainda que, em geral, o número de alunos que adquiriram os conhecimentos relevantes com os textos fica, quase sempre, pouco acima dos 50% em cada questão analisada. Então, é possível dizer que parte dos sujeitos da pesquisa possuía condições cognitivas para aprendizagem significativa subsequente.

Neste trabalho, verificamos que os sujeitos da pesquisa adquiriram alguns subsunçores com as discussões dos textos históricos em sala de aula. Ao mesmo tempo, esta dissertação nos deixa um desafio, que é propor um outro trabalho em que, além da verificação da aquisição de subsunçores, também se faça a avaliação da ocorrência da aprendizagem significativa do conteúdo ministrado posteriormente ao texto de História da Ciência. Um segundo desafio, é aumentar o número de alunos que adquirem os subsunçores, uma vez que nossos dados mostram que esse número ficou em torno de 50 %. O aumento desse percentual é necessário porque, para que haja aprendizagem significativa, o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo. Um dos fatores para que isto ocorra é a natureza da estrutura cognitiva do aluno, em particular. A aquisição de significados ocorre em cada indivíduo. Para que ocorra, de fato, a aprendizagem significativa, não basta que as novas informações sejam simplesmente relacionáveis às idéias correspondentemente relevantes, que a maioria dos seres humanos pode adquirir. É preciso que tais idéias estejam disponíveis na estrutura cognitiva de um determinado aluno, para satisfazer a função de subsunção e ancoragem. Sendo assim, a *disponibilidade de conteúdo relevante* na estrutura de conhecimento de cada aluno é uma variável decisiva na determinação do potencial significativo. (AUSUBEL et al., 1980, p. 37; AUSUBEL, 2003, p. 74). Dessa maneira, é necessário fazer com que mais alunos adquiram os subsunçores, para que mais alunos possam ter condições cognitivas de aprender de forma significativa.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. The use of advanced organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, v. 51, n. 5, p. 267-272, 1960.

AUSUBEL, D. P.; FITZGERALD, D. Organizer, general background, and antecedent learning variables in sequential verbal learning. *Journal of Educational Psychology*, v. 53, n. 6, p. 243-249, 1962.

AUSUBEL, D. P. *Educational psychology: a cognitive view*. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, INC., 1968.

_____. In defense of advanced organizers: a replay to the critics. *Review of Educational Research*, v. 48, n. 02, p. 251-257, 1978.

_____. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Tradução de Lígia Teopisto. Lisboa: Paralelo, 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Tradução de Eva Nick et al. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. Lisboa: Edições 70, 1977.

BASTOS, F. *História da Ciência e ensino de biologia: a pesquisa médica sobre a febre amarela (1881-1903)*. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, USP, São Paulo, 1998.

BIZZO, N. M. V. História da Ciência e ensino: onde terminam os paralelos possíveis? *Em Aberto*, v. 11, n. 55, p. 29-35. 1992.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Tradução de Maria João Alvarez; Sara Bahia dos Santos; Telmo Mourinho Baptista. Porto: Porto Editora, 1994.

BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, p. 635-644, 2007.

BOSS, S. L. B.; SOUZA-FILHO, M. P.; LISBOA-FILHO, P. N.; CALUZI, J. J. História da Ciência e aprendizagem significativa: o conceito de carga elétrica. In: ENCONTRO DE

PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008a. No prelo.

_____. História da Ciência e a formação de subsunções para a aprendizagem significativa de conceitos de eletrostática. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 11., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de História da Ciência, 2008b. No prelo.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio (Parte III – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias)*. Brasília: MEC, 2002.

CAJORI, F. The pedagogic value of the History of Physics. *The School Review*, v. 7, n. 5, p. 278-285, 1899.

CALUZI, J. J.; SOUZA-FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B. A história hipotética na Física: distorções da História da Ciência nos livros didáticos sobre o experimento de Oersted. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VI., 2007, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007. Disponível em: <www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec>. Acesso em: 3 set. 2008.

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. I. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 1, n. 1, p. 3-19, 1996.

CHIPMAN, R. A. An unpublished letter of Stephen Gray on electrical experiments, 1707-1708. *Isis*, v. 45, n. 1, p. 33-40, 1954.

_____. The manuscript letters of Stephen Gray, F.R.S. (1666/7-1736). *Isis*, v. 49, n. 4, p. 414-433, 1958.

CLARK, D. H.; MURDIN, L. The enigma of Stephen Gray astronomer and scientist (1666 – 1736). *Vistas in Astronomy*, v. 23, p. 351-404, 1979.

DIAS, P. M. C. A (Im)Pertinência da História ao aprendizado da Física (um estudo de caso). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 2, p. 226-235, 2001.

DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. O passado, o presente e o cotidiano: uma tentativa de ensinar Física. In: NILSON, M. D. (Org.). SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XV., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2003. 1CD-ROM, p. 1615-1623.

DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M. A gravitação universal (um texto para o Ensino Médio). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 3, p. 257-271, 2004.

DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: o caminho da livreria à descoberta da indução eletromagnética. *Revista Ciência & Educação*, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004.

DU FAY, C. F. C. Quatrième mémoire sur l'électricité: de l'attraction & répulsion des corps électriques. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p. 457-476, 1733.

_____. A Letter from Mons. Du Fay, F.R.S. and the Royal Academy of Sciences at Paris, to his Grace Charles Duke of Richmond and Lenox, concerning Electricity. Translated from the French by T.S. MD. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v. 38, p. 258-266, 1735.

ELECTRICITY. In: *Encyclopaedia; or a dictionary of arts, sciences, and miscellaneous literature*. Philadelphia: Thomas Dobson, 1798, v. 06, p. 420.

FLICK, U. *Uma introdução à pesquisa qualitativa*. Tradução de Sandra Netz. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

FRANKLIN, B. The one fluid theory of electricity. In: MAGIE, W. F. *A source book in Physics*. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1935. p. 400-402.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, v. 82, n. 4, p. 511-526, 1998a.

_____. Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 16, n. 1, p. 131-146, 1998b.

_____. Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, n. 3, p. 441-452, 1999.

GRAY, S. A letter to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. containing several experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, v. 37, p. 18-44, 1731.

GUÇÃO, M. F. B.; BOSS, S. L. B.; SOUZA-FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Uma análise do conteúdo histórico nos livros didáticos do Ensino Médio: Eletrostática. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008. No prelo.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: 3 Eletromagnetismo*. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

HEILBRON, J. L. *Electricity in the 17th and 18th century*: a study of early modern Physics. Berkeley: University California Press, 1979.

HOME, R. W. *The effluvial theory of electricity*. New York: Arno Press, 1981.

LANGEVIN, P. O valor educativo da História das Ciências. In: GAMA, R. (Org.). *Ciência e Técnica*: antologia de textos históricos. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992.

MAGALHÃES, M. F.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. Uma proposta para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético: uma aplicação da História da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 4, p. 489-496, 2002.

MARTINS, R. A. Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do eletromagnetismo. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 5, p. 49-57, 1988. (Número especial).

MATTHEWS, M. R. *Science teaching – the role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.

MONK, M.; OSBORNE, J. Placing the History and Philosophy of Science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, v. 81, n. 4, p. 405-424, 1997.

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

MORSE, R. M. *The electrical writings of Benjamin Franklin and friends*: papers on electricity, 2004. Disponível em: <www.tufts.edu/as/wright_center>. Acesso em: 31 ago. 2008.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física básica: 3 Eletromagnetismo*. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

PONTES-NETO, J. A. S. Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas. *Série Estudos – Periódico do Mestrado em Educação da UCDB*, n. 21, p. 117-130, 2006.

REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. *Fundamentos da teoria eletromagnética*. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1980.

SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. A História da Física como “organizador prévio”. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVI., 2005, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física, 2005. Seção CO.A2.02. Disponível em: <www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/>. Acesso em: 31 ago. 2008.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. *Física 3: Eletricidade e Magnetismo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

SILVA, M. E.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. Atrito: “salvando aparências”. In: NILSON, M. D. (Org.). SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XV., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2003. 1CD-ROM, p. 593-601.

SOUZA, M. T. M.; DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. Um novo ensino da gravitação universal. In: NILSON, M. D. (Org.). SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XV., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2003. 1CD-ROM, p. 1228-1235.

SOUZA-FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Diferenças e semelhanças entre eletricidade e magnetismo: o diálogo histórico entre o erro e a verdade subsidiando o ensino de Física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI., 2008a, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008a. No prelo.

SOUZA-FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; CALUZI, J. J. Perfil e obstáculo epistemológico na aprendizagem do conceito de ímã. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XI., 2008b, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008b. No prelo.

TIPLER, P. A. *Física: Eletricidade, Magnetismo e Ótica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, v. 2, 2000.

TOZONI-REIS, M. F. C. *Metodologia de pesquisa científica*. Curitiba: IESDE Brasil, 2007.

VILLANI, A. et al. Filosofia da Ciência, História da Ciência e psicanálise: analogias para o ensino de Ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 14, n. 1, p. 37-55, 1997.

VANNUCCHI, A. I. *História e Filosofia da Ciência: da teoria para a sala de aula*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, USP, São Paulo, 1996.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Sears e Zemansky Física III: Eletromagnetismo*. Tradução e revisão técnica de Adir Moysés Luiz. 10. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2004.

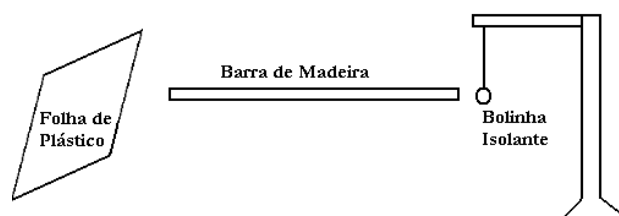
APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário 01 – Avaliação dos Conhecimentos Prévios ⁶⁹

1 - O que você entende por carga elétrica?

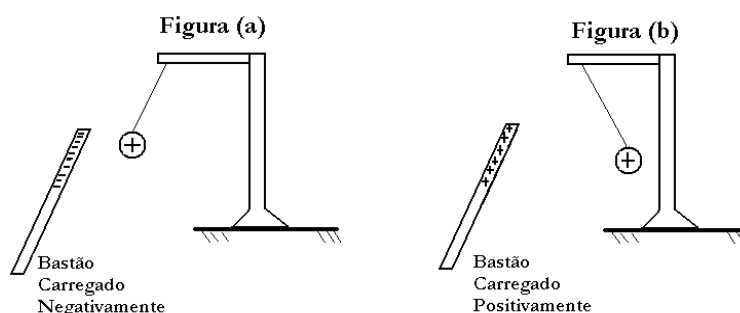
2 - O que você entende por eletrização?

3 - a) Aproximarmos uma folha de plástico, carregada eletricamente, do extremo de uma comprida barra de madeira sem tocá-la, como mostra a figura abaixo. No outro extremo da barra há uma bolinha de material isolante. A bolinha será atraída pela barra de madeira? Explique sua resposta.



b) E se a *barra de madeira* for substituída por um *fio metálico de cobre*, a bolinha será atraída? Explique sua resposta.

4 - a) Um pêndulo eletrostático, carregado positivamente, é atraído por uma barra de plástico carregada negativamente (Figura a) e é repelido por uma barra de plástico carregada positivamente (Figura b). Esta afirmação está correta? Se responder NÃO, explique por quê. Se responder SIM, como você explica este fenômeno?



b) E se a bolinha do pêndulo estiver neutra, o que acontece com a aproximação do bastão?

⁶⁹ A questão "3a" foi retirada dos artigos de Furió e Guisasola (1998b, 1999).

APÊNDICE B – Questionário 02 – Sobre os Textos Históricos

Prezado Aluno, ao responder as perguntas sobre os textos de História da Ciência utilize os termos referentes aos textos, procure não utilizar termos e conhecimentos “modernos”.

1. No texto sobre Stephen Gray está escrito: “[...] *tendo Recordado uma suspeita que tive há alguns anos, que [da mesma forma] como o Tubo transmitia Luz aos Corpos, quando atritado no Escuro, se não poderia, ao mesmo tempo, comunicar Eletricidade a eles.*”. Em seguida, Gray descreve o experimento que o levou à proposição da condução da eletricidade. Descreva este experimento e duas variações que mostrem que a eletricidade pode ser conduzida a certa distância.
2. Descreva o experimento em que Stephen Gray e seu amigo Wheler propuseram a existência de materiais condutores e isolantes.
3. Du Fay fez vários experimentos sobre eletricidade e propôs dois princípios gerais que segundo ele regiam os fenômenos elétricos. Enuncie-os.
4. Descreva o experimento realizado por Du Fay que deu origem ao segundo princípio e comente-o. Explique também por que não é possível explicá-lo por meio do primeiro princípio.
5. Benjamin Franklin propôs uma teoria para eletricidade. Faça um resumo desta teoria e explique no que ela difere da teoria de Du Fay.
6. Em termos da teoria de eletricidade de Benjamin Franklin, como você pode explicar a seguinte afirmação: *ao atritar um tubo de vidro ele fica eletrizado?*

APÊNDICE C – Texto 01 – Stephen Gray⁷⁰

FRAGMENTOS DO ARTIGO: CARTA⁷¹ PARA CROMWELL MORTIMER, M.D.⁷² SECR.⁷³ R.S.⁷⁴ CONTENDO VÁRIOS EXPERIMENTOS A RESPEITO DE ELETRICIDADE, PELO SENHOR STEPHEN GRAY.

PARTE 1

1. No Ano de 1729, comuniquei ao Dr. *Desaguliers*, e alguns outros Senhores, uma Descoberta que eu havia feito recentemente, mostrando que a Virtude Elétrica de um Tubo de Vidro pode ser transmitida para outros Corpos, dando a eles a mesma Propriedade de atração (pg. 19) e repulsão de Corpos leves, como o Tubo faz quando excitado por atrito, e que esta Virtude pode ser levada para Corpos que estão a muitos Pés de distância do Tubo.

[...]

2. Fiz várias tentativas com metais para verificar se eles poderiam tornar-se atrativos pelo mesmo método que outros Corpos foram, a saber, por aquecimento, por atrito e por marteladas, mas sem nenhum Sucesso. Então, resolvi adquirir um longo Tubo de Vidro, para verificar se poderia fazer alguma descoberta adicional com ele. Tendo Recordado uma suspeita que tive há alguns anos, que [da mesma forma] como o Tubo transmitia Luz aos Corpos quando atritado no Escuro, se não poderia, ao mesmo tempo, comunicar Eletricidade a eles. Embora (pg. 20), até aquele momento, eu não tivesse feito o Experimento, não imaginava [que] o Tubo pudesse ter tão grande e admirável Influência, para causar atração com tão grande Força, ou que a atração pudesse ser transmitida para tão extraordinária distância, como será incluído na Sequência desta Apresentação.

⁷⁰ Extraído de: GRAY, S. A letter to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. containing several experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, v. 37, p. 18-44, 1731.

* As letras maiúsculas e os itálicos em algumas palavras são características do texto original. Os números entre parênteses indicam a página original do texto.

⁷² MD (Doctor of Medicine) - Doutor em Medicina.

⁷³ Secretário.

⁷⁴ Royal Society.

3. Antes de prosseguir com os Experimentos, pode ser necessário dar uma Descrição do Tubo: ele tem três Pés e cinco Polegadas de Comprimento, e próximo de uma Polegada e dois Décimos de diâmetro. Dou a média das Dimensões, pois o Tubo é mais largo em cada Extremidade do que no Meio, o buraco tem perto de uma polegada. Para cada extremidade, adaptei uma Cortiça, para não empoeirar quando ele não estiver em uso.

4. O primeiro Experimento que fiz, foi para verificar se poderia encontrar alguma Diferença na Atração quando o Tubo estivesse tampado em ambas as Extremidades pela cortiça, ou quando deixado aberto. Mas não percebi nenhuma Diferença sensível. Porém, segurando uma Pena bem junto a Extremidade superior do Tubo, descobri que ela vai para a Cortiça, sendo atraída e repelida por ela [a cortiça], como pelo Tubo, quando excitado por atrito. Então, segurei a Pena bem junto à Extremidade plana da Cortiça, a qual atraiu e repeliu muitas Vezes seguidas. Isto me deixou muito surpreso, e concluí que existia certamente uma Virtude Atrativa transmitida para a Cortiça pelo Tubo excitado.

5. Tenho uma Bola de Marfim de, aproximadamente, uma Polegada e três Décimos de Diâmetro com um furo através dela. Fixei-a em uma Vareta de Abeto⁷⁵ de, aproximadamente, Quatro polegadas de comprimento, inserindo a outra Extremidade na Cortiça. Atritando o Tubo, descobri que a Bola atraía e repelia a Pena com mais vigor do que a Cortiça havia atraído, (pg. 21) repetindo as Atrações e Repulsões muitas vezes seguidas. Fixei a Bola em Varetas mais compridas, primeiro em uma de oito Polegadas, depois em uma de vinte e quatro Polegadas de comprimento, e encontrei o mesmo Efeito. Então, utilizei primeiro Fio de Ferro e depois de Latão para prender a bola, inserindo a outra Extremidade do Fio na Cortiça, como anteriormente, e descobri que a Atração era a mesma, como quando utilizava a Vareta de Abeto, e que quando a Pena era segurada junto a alguma parte do Fio, ela era atraída por ele. Mas embora ele estivesse mais próximo do Tubo, a atração dele não era tão forte quanto a da Bola. Quando um Fio de dois ou três Pés de comprimento foi utilizado, as suas Vibrações, causadas pelo atrito do Tubo, tornaram-no um pouco inconveniente para o sucesso do Experimento. Isso me fez pensar: se a Bola fosse pendurada por um Barbante [de cânhamo], e suspensa no Tubo por um Laço, a Eletricidade não seria levada ao longo da Linha para a Bola [?]. Provei isto da seguinte maneira: suspendendo a Bola no Tubo por um Barbante de aproximadamente três Pés de comprimento. Quando o Tubo foi excitado por atrito, a Bola de Marfim atraiu e repeliu a Lâmina de Latão, sobre a qual ela estava colocada, tão livremente quanto ela havia feito quando

⁷⁵ Espécie de árvore – tipo de madeira.

estava pendurada em Varetas ou Fios, como fez também a Bola de Cortiça e outra de Chumbo que pesava uma Libra e um quarto.

[...]

O passo seguinte foi testar quão Distante a Virtude Elétrica poderia ser levada.

[...]

6. Dia 31 de *Maio*, de Manhã, a um Pólo de dezoito Pés, foi amarrada uma Linha de trinta e quatro Pés de Comprimento, de forma que o Pólo e a Linha juntos tivessem cinqüenta e dois Pés. Com o Pólo e o Tubo fiquei em pé na Sacada, o [meu] Assistente [John Godfrey] embaixo, no Pátio, onde ele segurava uma Tábua com as Lâminas de Latão sobre ela. Então, o Tubo foi excitado, como de costume, a Virtude Elétrica passou do Tubo para o Pólo, e da Linha para a Bola de Marfim, a qual atraiu a Lâmina de Latão, e a Bola passou (pg. 25) sobre ela Vibrando. A Lâmina de Latão a seguiria, ainda que fosse carregada para fora da Tábua. Contudo, estes Experimentos são difíceis de [se] fazer ao Ar livre, o mínimo Vento que está mexendo, carrega a Lâmina de Latão.

PARTE 2

7. Algum Tempo depois, fiz várias tentativas para levar a Virtude Elétrica em uma Linha horizontalmente, visto que aqui não tive a Oportunidade de levá-la para grandes Alturas perpendicularmente, pela falta de Materiais apropriados, como aparecerá na seqüência. Mas não obtive sucesso. O primeiro Método que eu utilizei para realizar o teste foi fazer um Laço em cada Ponta da Linha e pendurá-la em um Prego fixado em uma Viga, de forma que as suas pontas com os laços ficassem livres para baixo. Então, em uma das pontas da linha amarrei a Bola de Cortiça pelo Laço, e a outra ponta da linha foi pendurada no Tubo também por meio do Laço, de forma que a Parte da linha próxima a Bola ficasse pendurada na Vertical, e o restante da linha na Horizontal. Então a Lâmina de Cobre foi colocada embaixo da Bola e o Tubo foi atritado, porém, não foi percebido o mínimo Sinal de Atração. Com isso, concluí que, quando a Virtude

Elétrica chegava ao Laço que estava suspenso na viga, de algum modo, a Virtude subia para ela, ou pelo menos, um pouco dela, o mínimo ia para Bola.

[...]

8. [...] *Sr. Wheeler* estava ansioso para testar se nós não poderíamos levar a Virtude Elétrica horizontalmente. Então, disse a ele sobre as Tentativas que eu havia feito com aquele Propósito, mas, sem Sucesso. Informei a ele o Método e os Materiais utilizados, como mencionados acima. Ele, então, propôs uma Linha de Seda como suporte para Linha [de transmissão], pela qual a Virtude Elétrica passaria. Eu disse a ele que isto poderia melhorar o [experimento], devido menor espessura do fio de seda, de forma que haveria menos Virtude retirada da Linha de Transmissão. O *Sr. Wheeler* arquitetou sozinho este Método, e com grande esforço que ele empregou e com a assistência de seus Servidores, nós obtivemos sucesso maior que as nossas Expectativas.

9. O primeiro Experimento foi feito na Galeria atapetada, em 2 de *Julho* de 1729, por volta das Dez da Manhã. Aproximadamente a quatro Pés (pg. 27) da Extremidade da Galeria havia uma Linha cruzada, que foi fixada pelas Pontas em cada Lado da Galeria por dois Pregos. A Parte do meio da Linha era [de] Seda, o resto, em cada Extremidade, [de] Barbante (packthread). Então, a Linha, na qual a Bola de Marfim estava pendurada, e pela qual a Virtude Elétrica estava para ser transmitida a ela do Tubo, tendo oitenta Pés e meio [aproximadamente 23,3 metros] de Comprimento, foi colocada sobre a Linha de Seda cruzada, de forma que a Bola [ficasse] pendurada aproximadamente nove Pés abaixo dela. Então, a outra Extremidade da Linha [de transmissão] foi suspensa no Cano de Vidro por um Laço, e a Lâmina de Latão foi colocada sob a Bola [e] sobre um Pedaco de Papel branco. Quando o tubo foi atritado, a Bola atraiu as Lâminas de Latão e manteve-as suspensa sobre ela por algum Tempo.

[...] *No celeiro.*

10. [...] Isto nos encorajou a adicionar outro Retorno, mas ao começarmos atritar o Tubo nossa Linha de Seda se rompeu, não sendo forte o suficiente para agüentar o Peso da Linha [de Transmissão], quando chacoalhada pelo Movimento dado a ela pelo atrito do Tubo. Com isso, tendo trazido comigo Fios de Latão e de Ferro, colocamos um fino Fio de Ferro em vez da [Linha de] Seda. Mas este também foi fraco para agüentar o Peso da Linha [de Transmissão]. Nós, então, tomamos um Fio de Latão um pouco mais grosso do que (pg. 29) o de Ferro. Este

suportou a nossa Linha de comunicação, mas embora o Tubo estivesse bem atritado, não houve o mínimo Movimento ou Atração dada pela Bola. Nem com o Tubo grande, que utilizamos quando notamos que o pequeno Cano maciço era ineficaz. Por isso, fomos convencidos [de] que o Sucesso que havíamos obtido anteriormente dependia das Linhas que sustentavam a Linha de Comunicação, sendo seda, e não delas serem finas, como antes do Teste imaginei que pudesse ser. O mesmo Efeito, ocorrido aqui, foi obtido quando a Linha que transmitiria a Virtude Elétrica foi sustentada por Barbante (Packthread). A saber, quando o Eflúvio vinha para o Fio ou Barbante que sustentavam a Linha [de condução], ele passava deles para a Madeira, na qual cada Extremidade deles estava fixadas, e assim não ia mais adiante na Linha que a levava para a Bola de Marfim.

PARTE 3

Na casa do Sr. Godfrey fiz os seguintes Experimentos, mostrando que a Virtude Elétrica poderia ser levada do Tubo sem tocar a Linha de Transmissão, somente segurando [o tubo] próximo a ela.

[...]

11. Peguei um pedaço de uma Linha Muito Fina [...], de aproximadamente onze Pés de Comprimento, a qual, por um Laço em sua Ponta superior, foi suspensa em um prego que estava fixado em uma das Vigas do Sótão, e tinha em sua Ponta mais baixa (pg. 34) um Peso de chumbo de quatorze Libras, pendurado nela por uma Argola de Ferro. Então, a Lâmina de Latão foi colocada embaixo do Peso, o tubo foi atritado e segurado próximo a Linha sem tocá-la. O peso de Chumbo atraiu e repeliu a Lâmina várias vezes seguidas, para a Altura de no mínimo três, senão quatro, Polegadas. Se o Tubo fosse segurado três ou quatro Pés acima do Peso, haveria Atração. Mas se ele fosse segurado mais alto, de forma a ficar próximo da Viga onde o peso estava preso pela Linha Muito Fina, não haveria Atração.

[...]

12. Dia 13 de *Agosto*, peguei uma grande Vara, que tinha vinte e sete Pés de comprimento, duas Polegadas e meia de Diâmetro na Ponta maior, e na menor, aproximadamente, meia Polegada.

Ela era de uma Espécie de Madeira chamada Taia, e estava com casca. Esta foi suspensa por duas Linhas Muito Finas de aproximadamente quatro Pés de Comprimento. A primeira Linha estava a quase dois Pés da Ponta maior da Vara. A outra, a quase oito Pés da Ponta menor, de forma que a Vara ficasse na horizontal. Na Ponta menor da Vara pendurou-se uma Bola de Cortiça de aproximadamente meia Polegada de Diâmetro, por um Barbante de aproximadamente um Pé de comprimento. Uma pequena Bola de Chumbo foi colocada na Cortiça para manter o Barbante esticado. Então, a Lâmina de Latão foi colocada embaixo da Cortiça, o Tubo foi atritado e colocado próximo a Ponta maior da Vara, a Bola de Cortiça puxou a Lâmina fortemente para o Alto em uma Polegada, se não mais. Então, a Lâmina foi colocada embaixo de várias Partes da Vara, e foi atraída por todas elas, como *Sr. Godfrey* observou. Porém, não tão fortemente quanto a [Bola de] Cortiça.

APÊNDICE D – Texto 02 – Charles F. C. Du Fay

DA ATRAÇÃO E REPULSÃO DOS CORPOS ELETRIZADOS

1. Nós sempre, e até o presente momento, tratamos a virtude elétrica de uma maneira generalizada, mas por esse termo nós entendemos não somente a virtude que os corpos elétricos têm de atrair, mas também a virtude de repelir os corpos que eles uma vez atraíram⁷⁶. Essa tendência não é sempre constante e ela está sujeita a variações que me levaram a examiná-la com cuidado. Eu creio ter descoberto alguns princípios muito simples, que nós ainda não havíamos suspeitado e que são a causa de todas essas variações, visto que, até o presente momento, eu não conheço nenhuma experiência que esteja com elas relacionada. (DU FAY, 1733).

2. *Experimento relatado por Otto de Guericke e posteriormente por Hauksbee. Guericke realizou-o com uma bola de enxofre e Hauksbee com um tubo de vidro. Atrita-se bem o tubo [de vidro] para deixá-lo eletrizado. Mantendo-o numa posição horizontal, deixa-se cair sobre ele uma parcela de folha de ouro. [...] se o tubo estiver bem eletrizado, assim que ela toca o tubo, será repelida perpendicularmente para cima, a uma distância de oito ou dez polegadas. Ela ali permanecerá quase imóvel, e se aproximarmos o tubo, elevando-o em sua direção, ela se elevará também de maneira a conservar sempre a mesma distância em relação a este. Assim, será impossível tocá-la com o tubo, e poderemos, então, conduzi-la por onde quisermos, uma vez que ela sempre o evitará.* (DU FAY, 1733).

3. [...] realizando o Experimento relatado por *Otho de Guericke*⁷⁷, na sua Coleção de Experimentos *de Spatio Vácuo*, o qual consiste em eletrizar uma Bola de Enxofre para repelir uma Pena, eu percebi que o mesmo efeito foi produzido não somente pelo Tubo, mas por todos os corpos elétricos⁷⁸. Eu descobri um Princípio muito simples, que explica grande parte das

⁷⁶ Segundo Heilbron, Du Fay teve que dispersar o nevoeiro no qual Hauksbee e Gravesande tinha deixado a *repulsão elétrica*. Inicialmente, ele pensava que a repulsão não existia. Após certo tempo, Du Fay estava persuadido da existência da “real repulsão”, fazendo uma plausível conexão com a atração. (HEILBRON, 1979, p. 255).

⁷⁷ Otto de Guericke [Gericke], nascido em 20 de Novembro de 1602 em Magdeburg, Alemanha, morreu em 11 de Maio de 1686, Hamburg, Alemanha. Fez a primeira bomba de vácuo em 1647, fez o que pode ser chamada de primeira máquina de eletricidade estática (consistia em globo de enxofre montado sobre um eixo).

⁷⁸ Gray e Du Fay utilizavam os termos *elétrico* e *não-elétrico* para designar o que, atualmente, são denominados materiais *isolantes* e *condutores*, respectivamente. Os termos *condutores* e *não-condutores* foram introduzidos posteriormente a eles, por Jean Theophilus Desaguliers (1683-1744). É importante destacar que os termos *elétrico* e *não-elétrico* foram

irregularidades, e se eu puder usar o Termo, dos Caprichos que parecem acompanhar a maioria dos Experimentos em Eletricidade. Este princípio é: Corpos Elétricos atraem todos aqueles que não estão desta forma, e os repelem assim que eles tornam-se elétricos, pela Proximidade ou pelo Contato com o Corpo Elétrico. Desta forma, (pág. 263) a Lâmina de Ouro⁷⁹ é, primeiro, atraída pelo Tubo, adquire Eletricidade por aproximar-se dele e, conseqüentemente, é imediatamente repelida. A lâmina não é atraída novamente enquanto reter a Qualidade elétrica. Mas se, enquanto ela estiver suspensa no Ar, eventualmente tocar em algum outro Corpo, ela imediatamente perde sua Eletricidade e conseqüentemente é atraída novamente pelo Tubo, que, após dar a ela uma nova Eletricidade, a repele pela segunda vez. Isto ocorre enquanto o Tubo mantiver sua Eletricidade. Aplicando este Princípio em vários Experimentos sobre Eletricidade, fiquei surpreso com o Número de fatos obscuros e confusos que ele clareou. O famoso Experimento do Globo de Vidro do Senhor *Hauksbee*, no qual Linhas de Seda são usadas, é uma conseqüência necessária deste [princípio], ver *Fig. D1*. Quando estas Linhas são estendidas de Forma Radial pela Eletricidade, em direção ao Globo, se o Dedo for colocado próximo ao Lado de Fora do Globo, a linha de dentro [do globo] afasta-se do dedo, como é bem conhecido. O que acontece somente devido à aproximação do Dedo, ou algum outro corpo colocado próximo ao Globo de Vidro. Esta aproximação eletriza o corpo, e conseqüentemente, repele a Linha de Seda, que são dotadas com semelhante Qualidade [elétrica]. Com um Pouco de reflexão podemos, da mesma maneira, explicar a maioria dos outros Fenômenos, aparentemente inexplicáveis, se atentarmos para este Princípio. (BOSS; CALUZI, 2007).

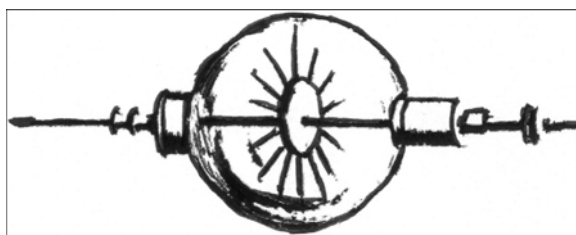


Figura D1 - Esquema obtido do livro *Physical-Mechanical Experiments* de Francis Hauksbee.

propostos por Willian Gilbert (1540-1603), sendo que, elétricos eram os materiais que apresentavam a mesma propriedade do âmbar (do grego *elektron*) de atrair pequenos objetos quando atritado, e não-elétricos eram os materiais que não apresentavam tal característica. Quando Gray chega à conclusão de que existem materiais que podem conduzir a virtude elétrica e que há materiais que não a conduzem, estes termos passam a ter, também, outro significado, passando a designar, ainda, os materiais condutores (não-elétricos) e os não-condutores (elétricos).

⁷⁹ Lâmina presa a uma linha isolante formando um pêndulo.

4. A explicação de todos esses fatos é bem simples, considerando o princípio que eu acabo de trilhar. Na primeira experiência, no momento que se deixa cair a folha sobre o tubo, ele a atrai consideravelmente, pois não está eletrizada. Mas, a partir do momento que ela o toca, ou que apenas se aproxima dele, se torna eletrizada e, por consequência, é repelida, mantendo-se sempre distante até que o pequeno turbilhão elétrico que havia contraído seja dissipado ou ao menos, diminuído consideravelmente⁸⁰. Não sendo mais repelida, então ela recai sobre o tubo, onde readquire um novo turbilhão, e, por consequência, novas forças de repulsão. Isso se manterá enquanto que o tubo conservar sua virtude. Se o tubo tiver apenas uma virtude medíocre e utilizarmos na experiência uma pluma, ou um pedaço de algodão, pode ser que o tubo não consiga repeli-los. Uma vez que eles aderem a ao tubo por meio de seus pequenos filamentos e o turbilhão comunicado não tenha força suficiente para fazê-los descolar do tubo. Como se vê, a razão é evidente e a experiência sempre terá êxito se o tubo estiver bem eletrizado. (DU FAY, 1733).

[...]

5. Eu comecei por sustentar no ar, com o mesmo tubo, duas folhas de ouro, e elas sempre se distanciam uma da outra, seja qual for o esforço que eu faça para aproximá-las. Isso deve advir da força, uma vez que ambas estavam eletrizadas. Assim que uma das duas toca a mão, ou qualquer outro corpo, elas se unem, uma a outra, sobre o campo, uma vez que uma delas foi tocada e perdeu sua eletricidade. Então, a outra a atrai e tende ir a sua direção. Tudo isso está perfeitamente de acordo com minha hipótese, mas o que me desconcertou prodigiosamente foi a experiência a seguir. (DU FAY, 1733).

6. Tendo elevado ao ar uma folha de ouro por meio do tubo, aproximei dela um pedaço de goma *copal* atritado e eletrizado. A folha interagiu com o campo [foi atraída] e ali permaneceu. Confesso que esperava um efeito completamente contrário, porque, segundo meu raciocínio, a copal, que estava eletrizada, deveria repelir a folha, que também estava eletrizada. Repeti a experiência um grande número de vezes, acreditando que eu não apresentava à folha o lugar que havia sido atritado [na copal]. Dessa forma, ela não se comportava como faria em relação ao meu dedo, ou a qualquer outro corpo. Mas tendo feito sobre ela todas as minhas medidas, de maneira

⁸⁰ Home comenta a atitude de alguns historiadores, mas não cita quem são, que classificam Du Fay como um ortodoxo Cartesiano por ter utilizado a expressão “*turbilhão elétrico*”. Ele argumenta que a expressão referia-se a uma combinação de movimentos. Argumenta também que Du Fay não fez menção alguma a teoria de Descartes, porém, fez explicitamente menções a teoria de Hauksbee, apesar de ter pontos de discordância. (HOME, 1981, p. 57-9).

a não restar qualquer dúvida, me dei por convencido que a *copal* atraia a folha de ouro, ainda que ela tenha sido repelida pelo tubo. A mesma coisa acontecia ao aproximar a folha de ouro de um pedaço de âmbar ou de cera d'Espanha atritada. (DU FAY, 1733).

[...]

7. Aqui estão, portanto, duas eletricidades de naturezas completamente diferentes: aquela dos corpos transparentes e sólidos, como o vidro, o cristal, e aquela dos corpos betuminosos e resinosos como o âmbar, a goma *copal*, e a cera d'Espanha. Ambos os grupos repelem os corpos que contraíram uma eletricidade de mesma natureza que as suas. Eles atraem, ao contrário, aqueles cuja eletricidade é de uma natureza diferente. Nós acabamos de ver, até mesmo, que os corpos que não estão eletrizados podem adquirir cada uma dessas eletricidades e que, então, seus efeitos são parecidos àqueles efeitos dos corpos que os comunicaram a eles. (DU FAY, 1733).

[...]

8. Aqui estão, portanto, duas eletricidades demonstradas e eu não posso abster-me de dar-lhes nomes diferentes, para evitar a confusão dos termos e/ou o incômodo de definir, a cada instante, aquela da qual eu quero falar. Eu chamarei, pois, uma de *eletricidade vítrea* e outra de *eletricidade resinosa*. Eu não imagino que haja algum corpo da natureza do vidro que seja dotado de uma e os materiais resinosos da outra, uma vez que eu possuo fortes provas do contrário, mas é porque o vidro e a *copal* são os dois materiais que me permitiram descobrir as duas diferentes eletricidades. (DU FAY, 1733).

- Em outro texto, Du Fay descreve o segundo princípio da seguinte forma.

9. [...] por acaso, lançou-se em meu caminho outro Princípio, mais universal e extraordinário que o anterior, que lança uma nova luz sobre o tema Eletricidade. Este Princípio é: existem duas Eletricidades distintas, muito diferente uma da outra, uma que eu chamo de *Eletricidade vítrea* (p. 264) e a outra de *Eletricidade resinosa*. A primeira é aquela do Vidro, Pedra-Cristal, Pedra Preciosa, Pelo de Animais, Lã e muitos outros corpos. A segunda é aquela do Âmbar, [resina] Copal, Goma-Laca, Seda, Linha, Papel, e um vasto número de outros Materiais. A característica dessas duas eletricidades é que um Corpo de *Eletricidade vítrea*, por Exemplo, repele todos aqueles que possuem a mesma Eletricidade, e ao contrário, atrai todos aqueles de *Eletricidade resinosa*. De

forma que o Tubo eletrizado repelirá Vidro, Cristal, Pelo de Animal, etc., e atrairá seda, linha, papel, etc., embora eletrizado da mesma forma. O âmbar, ao contrário, atrairá vidros eletrizados e outros materiais da mesma classe, e repelirá Goma-Laca, [resina] Copal, Seda, linha, etc. Duas Fitas de Seda eletrizadas repelirão uma a outra, duas Linhas de Lã farão o mesmo, mas uma Linha de Lã e uma Linha de Seda atrair-se-ão mutuamente. Este Princípio explica, muito naturalmente, porque as Extremidades das Linhas de Seda ou de Lã afastam-se uma da outra em forma de Pincel ou Vassoura, quando elas adquirem a Qualidade elétrica. Deste Princípio podemos, com a mesma Facilidade, deduzir a Explicação de um grande Número de outros *Fenômenos*. É provável que esta Verdade nos leve a descobertas adicionais em muitas outras coisas. (BOSS; CALUZI, 2007, p. 643).

10. A fim de saber rapidamente a qual das duas Classes de Eletricidade pertence algum corpo, é preciso somente Eletrizar uma Linha de Seda, que sabemos pertencer a [classe de] *Eletricidade resinosa*, e verificar se aquele Corpo eletrizado (pág. 265) a atrai ou repele. Se ele a atrai certamente é da classe de Eletricidade que eu chamo de *vítrea*. Se ele a repelir, é da mesma classe de Eletricidade da Seda, que é a *resinosa*. Eu observei, da mesma forma, que corpos para os quais transmitimos Eletricidade retém a mesma propriedade. Se uma Bola de Marfim ou de Madeira for colocada sobre uma Placa de Vidro, e esta bola for eletrizada pelo Tubo, ela repelirá todos os materiais que o Tubo repele. Mas, se ela for eletrizada aplicando um Cilindro de Goma-Laca próximo a ela, produzirá o Efeito contrário, a saber, precisamente o mesmo que a Goma-Laca produziria. Para realizar estes Experimentos é requisito que os dois Corpos, que são colocados próximos um ao outro para encontrar a Natureza da Eletricidade deles, estejam tão eletrizados quanto possível. Se um deles não estiver bem eletrizado, ou estiver pouco eletrizado, ele será atraído pelo outro, embora seja da classe [de eletricidade] que deveria naturalmente ser repelida. Porém, o Experimento sempre correrá perfeitamente se ambos os Corpos estiverem suficientemente eletrizados. (BOSS; CALUZI, 2007).

APÊNDICE E – Texto 03 – Benjamin Franklin

A TEORIA DE FLUIDO ÚNICO DA ELETRICIDADE⁸¹

1. Uma pessoa, estando em pé sobre cera e atritando o tubo, e outra, sobre cera retirando o fogo, ambas (contanto que não estejam se tocando) parecem eletrizadas para uma pessoa em pé sobre o solo. Isto é, ele perceberá uma faísca ao aproximar seu dedo de cada um deles.
2. Mas, se as pessoas sobre a cera tocarem-se, durante a excitação do tubo, nenhuma delas parecerá ser eletrizada.
3. Se elas se tocarem após a excitação do tubo, e retirarem o fogo, como citado acima, haverá uma faísca mais forte entre elas do que houve entre cada um deles e a pessoa sobre o solo.
4. Após a forte faísca, nenhuma delas revela alguma eletricidade.

Tentamos explicar estes fatos da seguinte maneira: nós supomos, como citado anteriormente, que o fogo elétrico é um elemento comum, do qual todas as três pessoas, acima mencionadas, o tem em quantidade igual antes de começar qualquer operação com o tubo. [A pessoa] **A**, que está em pé sobre a cera e que atrita o tubo, coleta o seu fogo elétrico dentro do vidro. [Devido à] sua comunicação com o estoque comum (Terra) estar interrompida pela cera, seu corpo não é nova e imediatamente abastecido. [A pessoa] **B** (que também está em pé sobre cera), passando o seu dedo ao longo do tubo e próximo a ele, recebe o fogo que foi coletado pelo vidro de **A**. [Devido à] comunicação dele (**B**) com o estoque comum estar igualmente interrompida, ele retém a quantidade adicional recebida. Para [a pessoa] **C**, estando em pé sobre o solo, ambos [**A** e **B**] parecem estar eletrizados. Para ela, tendo apenas a metade da quantidade de fogo elétrico, recebe uma faísca ao aproximar-se de **B**, que o tem maior quantidade; mas dá uma [faísca] para **A**, que o tem em menor quantidade. Se **A** e **B** se aproximarem e se tocarem, a faísca é mais forte, porque a diferença entre eles é maior. Após tocarem-se, não há nenhuma faísca entre cada um deles e **C**, porque o fogo elétrico em todos é reduzido à igualdade original. Se eles tocarem-se enquanto eletrizam [o tubo], a igualdade nunca é destruída, o fogo apenas circula. Portanto, surgiram alguns termos novos entre nós. Dizemos que **B** (e corpos em circunstâncias semelhantes) é eletrizado

⁸¹ Texto extraído de: (FRANKLIN, 1935) e (MORSE, 2004).

positivamente; e **A**, *negativamente*. Ou melhor, **B** é eletrizado *mais*; e **A**, *menos*. E nós, diariamente em nossos experimentos eletrizamos corpos *mais* ou *menos*, como acharmos adequado. Para eletrizar *mais* ou *menos*, nada mais precisa ser conhecido do que isto: que a parte do tubo ou esfera que é tocada, faz, no momento do atrito, [a] extração o fogo elétrico, e por esse motivo retira-o da coisa que o atrita. As mesmas partes, quando o atrito sobre elas cessa, estão imediatamente dispostas a dar o fogo que receberam para algum corpo que possua menos. Deste modo, você pode fazê-lo circular como Senhor Watson tem mostrado. Você também pode acumulá-lo ou retirá-lo de algum corpo, quando você o conecta com o atritador, ou com o receptor. Para isso, a comunicação com o estoque comum [deve estar] cortada. Pensamos que engenhosos senhores, estavam enganados quando imaginaram (em sua *Seqüência*) que o fogo elétrico vinha do fio do teto para o cano da arma, e dali para a Esfera, e então eletrizava a máquina e o homem girando a roda. Nós supomos que ele [fogo elétrico] foi expelido, e não trazido através daquele fio; e que a máquina e o homem, foram eletrizados *menos* – isso é, tinha menos fogo elétrico neles do que coisas em comum.

APÊNDICE F – Condução da Eletricidade em Isolantes

Temos duas hipóteses para a transmissão de eletricidade em materiais isolantes descrita nos textos anteriores. A primeira seria por meio da indução eletrostática no material isolante, o que não seria uma transmissão de eletricidade, mas uma transmissão dos seus efeitos, uma vez que a extremidade da linha de transmissão isolante distante do tubo teria os mesmos efeitos que o tubo eletrizado. A segunda está relacionada à transmissão de cargas no material, pois se o campo elétrico gerado pelo tubo eletrificado for suficientemente elevado, o material isolante sofre uma ruptura dielétrica, uma ionização parcial que permite a condução elétrica através dele. (BOSS; CALUZI, p. 639, 2007).

1 - DETALHAMENTO DA PRIMEIRA HIPÓTESE

Um material dielétrico ideal é aquele em que não há cargas livres capaz de se mover. Contudo, todos os meios materiais se compõem de moléculas que, por sua vez, se constituem de entidades carregadas (núcleos atômicos e elétrons). Sendo assim, as moléculas de um dielétrico são afetadas pela presença de um campo elétrico.

As moléculas de um dielétrico podem ser classificadas em *polares* e *não-polares*. Nos *dielétricos polares*, as moléculas apresentam momentos de dipolo elétrico permanente, apesar de possuírem quantidades iguais de cargas negativas e positivas, elas não possuem simetria esférica. Parte da carga positiva tende a se acumular em um lado da molécula e parte da carga negativa se acumula do outro. O “centro de gravidade” do núcleo positivo não coincide com o dos elétrons. Nestes materiais os dipolos elétricos tendem a se alinhar com um campo elétrico externo. Nos *dielétricos não-polares*, o “centro de gravidade” do núcleo positivo coincide com o dos elétrons, mas estas moléculas podem se tornar um dipolo quando submetidas a um campo elétrico. Desta forma, as moléculas adquirem o momento de dipolo elétrico por indução (dipolo induzido) quando colocadas sob ação de um campo elétrico externo. Este campo externo tende a “esticar” a molécula, as partículas positivas são empurradas no sentido do campo e as partículas negativas empurradas no sentido inverso, separando ligeiramente os centros de carga positiva e carga negativa (ver *Figura F2*). O efeito total é uma acumulação de carga positiva sobre uma das faces e

de carga negativa na face oposta, ou seja, a redistribuição de cargas produzida pelo campo dá origem a uma carga sobre a superfície de cada lado do material dielétrico (ver *Figuras F1 e F3*). Esta redistribuição de cargas chama-se polarização, diz-se então que o material ficou polarizado. (HALLIDAY et al., 1996, p. 103; YOUNG; FREEDMAN, 2004, p. 120; SEARS et al., 1984, p. 585).

Estes deslocamentos são limitados, quase sempre, a frações muito pequenas do diâmetro molecular. Essa limitação ocorre devido a intensas forças restauradoras, formadas pela mudança da configuração de carga na molécula. Usa-se para estas cargas o termo “carga ligada”, em contraste com o termo “carga livre” dos condutores, para enfatizar que elas não estão livres para se movimentarem ou serem extraídas do material dielétrico. O efeito total, do ponto de vista macroscópico, é mais facilmente visualizado como um deslocamento de toda carga positiva em relação à carga negativa do dielétrico. (REITZ et al., 1982, p. 82).

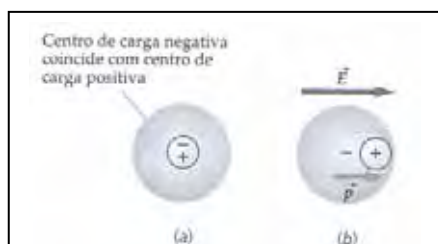


Figura F1 – Diagrama das distribuições de cargas num átomo ou molécula apolar. (a) Na ausência de campo elétrico externo, o centro das cargas negativas coincide com o das cargas positivas. (b) Na presença de campo elétrico externo, os centros das cargas se separam e formam um dipolo induzido que tem a direção do campo externo, (TIPLER, 2000, p. 105).

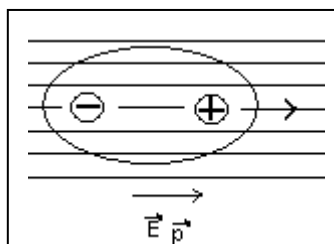


Figura F2 – Molécula apolar “esticada” sob ação de um campo elétrico externo.

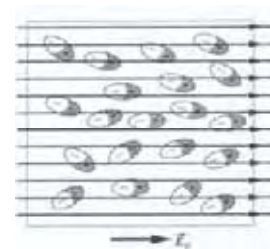


Figura F3 – Na presença de campo elétrico externo, os dipolos induzidos estão parcialmente alinhados, paralelamente ao campo externo. Isto faz com que haja cargas diferentes nas faces opostas do dielétrico. (TIPLER, 2000, p. 106).

Com isso, acreditamos que o campo elétrico do tubo pode polarizar os dielétricos, de forma que, estando um dielétrico polarizado, ele acaba por polarizar outro que esteja acoplado ou próximo a ele. Por exemplo, o tubo polariza a cortiça que está vedando sua extremidade, que polariza a

vareta de abeto (ou o barbante), que polariza a bola de marfim (ou de cortiça ou de metal). Uma vez a extremidade do sistema estando polarizada, ocorre a atração do detector por meio de indução, seja ele a penugem ou as lâminas de metal.

2 - DETALHAMENTO DA SEGUNDA HIPÓTESE

Quando um material dielétrico é submetido a um campo elétrico suficientemente alto, ocorre uma *ruptura dielétrica*, uma ionização parcial que permite a condução através dele. Assim, o dielétrico se transforma em um condutor. Isso ocorre quando a intensidade do campo elétrico é tão alta, que arranca elétrons fracamente ligados às moléculas. Estes elétrons colidem com outros e liberam mais elétrons na estrutura do material. Esta avalanche de cargas móveis forma uma centelha ou descarga, que geralmente se inicia repentinamente. O módulo do campo elétrico máximo que um material pode suportar, sem que ocorra a ruptura dielétrica, denomina-se *rigidez dielétrica*. (YOUNG; FREEDMAN, 2004, p. 119-20). Desta forma, nos experimentos relatados nos textos pode ocorrer de fato condução elétrica, *i.e.*, há portadores de carga se movimentando. Assim, quando o barbante ou madeira estão ligados ao tubo de vidro eletrizado, pode haver uma ruptura dielétrica e, conseqüentemente, movimentação de cargas nesses materiais, de forma que há uma acumulação de cargas positivas em uma extremidade e negativas na outra extremidade. Estas cargas acumuladas seriam as responsáveis pela atração e repulsão dos objetos, *e.g.*, pena e pequenas lâminas metálicas.

É importante destacar que os materiais comumente conhecidos como isolantes, *e.g.*, cortiça, barbante, madeira, etc., assim o são para diferenças de potenciais usuais, tal como as residenciais (127 V e 220 V). Como vimos anteriormente, acima de uma determinada diferença de potencial os materiais costumeiramente conhecidos como isolantes passam a ser condutores.

3 A ATRAÇÃO DOS DETECTORES DE ELETRICIDADE

Em um condutor há cargas móveis que podem ser atraídas ou repelidas pelo corpo eletrizado. Supondo o exemplo do tubo de vidro eletrizado e as lâminas de latão. Provavelmente, o tubo está carregado positivamente. Quando aproximado das lâminas, surge uma *carga induzida* negativa na

face da lâmina mais próxima ao tubo, devido à movimentação dos elétrons, sendo este processo chamado de eletrização por indução (ou influência). As cargas positivas e negativas na lâmina possuem o mesmo módulo, porém as cargas negativas estão mais próximas do bastão do que as positivas. Assim, elas sofrem uma força de atração maior do que a de repulsão sobre as cargas positivas. Portanto, a força resultante é atrativa.

A atração de um isolante ocorre, basicamente, da mesma forma. Porém, pode não haver movimentação de cargas elétricas, havendo um ligeiro deslocamento (para frente ou para trás) das cargas das moléculas quando sob a ação de um campo elétrico. Como efeitos macroscópicos, observamos algo semelhante ao que ocorre em um condutor. Devido ao deslocamento das cargas, haverá uma das faces do isolante com carga positiva e a outra com carga negativa. Por exemplo, se o objeto responsável pelo campo for o tubo de vidro eletrizado positivamente, a face do material isolante mais próxima dele estará carregada negativamente, e a face mais distante positivamente, o que possibilita a atração. No entanto, dependendo do potencial a que o tubo de vidro está submetido, o material isolante pode se comportar como um condutor, perdendo e ganhando cargas. Por exemplo, a penugem do experimento do Gray, quando ela é atraída e toca o tubo eletrizado, pode ocorrer perda de cargas negativas para o tubo, supondo que este está positivamente carregado, e então, ela é repelida. Ao tocar o solo, a parede ou outro objeto, a pena ganha cargas negativas (fica neutra) e é atraída novamente pelo tubo. Desta forma, ela é atraída e repelida sequencialmente, comportando-se como um condutor.