



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF**

**FERNANDO ALVES DE ANDRADE**

**UMA PROPOSTA DE ESTRATÉGIA DIDÁTICA INCORPORANDO  
ELEMENTOS DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA A PARTIR DOS  
PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO**

**TERESINA**

**2021**

**FERNANDO ALVES DE ANDRADE**

**UMA PROPOSTA DE ESTRATÉGIA DIDÁTICA INCORPORANDO  
ELEMENTOS DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA A PARTIR DOS  
PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO**

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física - Polo 26, da Universidade Federal do Piauí como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física.

Linha de pesquisa: Recursos Didáticos para o Ensino de Física. Formação de Professores

Orientador:

Prof. Dr. Boniek Venceslau da Cruz Silva

**TERESINA**

**2021**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial de Ciências da Natureza - CCN  
Serviço de Processamento Técnico

A554p Andrade, Fernando Alves de.  
Uma proposta de estratégia didática incorporando  
elementos de história e filosofia da ciência a partir dos  
processos de eletrização / Fernando Alves de Andrade. -- 2021.  
367 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,  
Centro de Ciências da Natureza, Programa de Pós-Graduação  
Profissional em Ensino de Física, Teresina 2021.

“Orientador: Prof. Dr. Boniek Venceslau da Cruz Silva”.

1. Física – Estudo e Ensino. 2. Energia Elétrica - História. 3.  
Ciência - Filosofia. 4. Didática. I. Silva, Boniek Venceslau da  
Cruz. II. Título.

CDD 530.07

Bibliotecária (o): Caryne Maria da Silva Gomes – CRB3/ 1461

**FERNANDO ALVES DE ANDRADE**

**UMA PROPOSTA DE ESTRATÉGIA DIDÁTICA INCORPORANDO  
ELEMENTOS DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA A PARTIR DOS  
PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO**

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física - Polo 26, da Universidade Federal do Piauí como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: **10.03.2021**

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Boniek Venceslau da Cruz Silva (Orientador)  
(Universidade Federal do Piauí – UFPI)

---

Prof. Dr. Olival Freire Junior  
(Universidade Federal da Bahia – UFBA)

---

Prof. Dra. Eliana de Sousa Alencar Marques  
(Universidade Federal do Piauí – UFPI)

---

Prof. Dr. Francisco Barbosa Filho  
(Universidade Federal do Piauí – UFPI)

**TERESINA**

**2021**

*Dedico este trabalho a todas aquelas pessoas que me deixaram marcas na existência e que contribuíram para a minha constituição como ser humano pensante e sensível (todos os meus professores, meus filhos, amigos, esposa, irmãos, mãe e alunos). Dedico também à Universidade Federal do Piauí, na qual tive a oportunidade de estudar, de me perder e me achar nos livros da Biblioteca Central, e ao Restaurante Universitário, que mais que alimentar sonhos, permitia-me um amanhã repleto de horizontes a serem desvendados. Não poderia deixar de dedicar esse trabalho a todos os moradores da “Favela da Prainha” e do Parque Brasil 3, pessoas com as quais compartilho os meus sonhos e minhas condições de reprodução de existência material.*

## AGRADECIMENTOS

À multidão que tornara possível o limo que se encontra nas mãos do leitor. Ora, se a pesquisa científica é caracterizada por ser uma empreitada coletiva, esse trabalho não se constituiria de outra forma. Passando a existência em revista, agradeço imensamente às professoras da Unidade Nair Gonçalves, Ducarmo, Alma Rita e Rita, que no início da década de 90 do século passado, desafiavam as estruturas da terminal Ditadura Militar e provocaram em mim a angústia e a sede pelo conhecimento. Às professoras de Ensino Fundamental da Unidade Escolar Paulo Ferraz Patrícia (Geografia), Fátima (História) e Denise (Português)<sup>1</sup>. À biblioteca da Unidade Escolar Paulo Ferraz, onde com meus onze anos de idade já tinha contato com uma vasta literatura, diversos autores que foram também cruciais para a minha formação. À Maria Guadalupe da Caixa Econômica Federal por ser o primeiro ser humano que acreditou no meu potencial para a ação (agradecimento aqui é pouco), sem ela minha vida teria tomado outro rumo que certamente não me traria até aqui.

Aos meus amigos Marcílio Ulisses, Igor e José Rodrigues, pelos eternos aprendizados que ampliaram meus horizontes em Física. Aos amigos historiadores Raquel, Gilmar, Ozael, José Ribeiro, Nayhd Barros. Aos novos amigos que diminuíram a solidão de ser professor de Física e pesquisador em Ensino de Física: Ezequias, Cristian, Cabral, Andrea, Diogo, Miguel, Mauro, Diego, Edmar, Willian, Járbio, Severino; sem eles a caminhada certamente seria mais difícil e não traria os resultados aqui trabalhados.

A solidão da pesquisa não seria suportada sem a minha esposa Vera Lúcia, pessoa iluminada que infinitas vezes me abraçou com um simples olhar ao menor sinal de exaustão, medo e desespero. Ao Júlio Romão e à Beatriz que provocam em mim o desejo de ser sempre um modelo, a ser o melhor de mim mesmo, para que estes tenham o referencial que sempre me faltou.

Aos professores do IFPI tão importantes na minha formação de físico e como Professor de Física Itamar Soares, Ezequias Esteves, Adivaldo, Ceres Regina, Lossian e a meu eterno orientador Ayrton Vasconcelos pela sua generosidade intelectual, por sua postura social que produziu em mim sempre respeito e admiração. Aos professores da UFPI Bernardo, Kennedy Eugênio, Solimar, Ferdinan, Fonseca Neto, Denilson Botelho, Américo que me guiaram ao

---

<sup>1</sup> Se não agradeço a meus professores do Ensino Médio é porque ali não tive nenhum apoio ou referencial positivo capaz de me guiar. Aqui percebi que a escola era pouca para mim e não dava conta das complexas relações de exclusão nas quais eu estava inserido tanto como sujeito agente quanto paciente.

longo de minha formação como historiador e com os quais partilho convicções de mundo, formas de sentir e de pensar.

Ao professor Dr. Jaison Castro pelas aulas com profundidade nas quais aprendi sobre História Medieval e História das Américas, por ter me apresentado o pensamento de Walter Benjamin e a problemática do tempo, da cultura contemporânea e os problemas relacionados à imagem. Agradeço muito pelo convite para assistir suas aulas da disciplina do Doutorado em História, História, *Visualidade e cultura visual*, e pelo convite para integrar o *Grupo de Estudos sobre Walter Benjamin: estética e história da exceção*. Ao professor Paulo Ângelo de Meneses pelas suas aulas sobre Grécia, Métodos e Técnicas da Pesquisa em História, História e Literatura, por sua erudição, pela sua orientação no difícil caminho de desvelar a longa duração no pensamento de Braudel e sua articulação com o tempo histórico do intenso agora.

Ao apoio da minha amiga e irmã Laiza Alves, por seu cuidado espiritual, por sua intensidade de viver e pelo seu desmedido amor que nos trouxe até aqui.

Ao Núcleo de Estudos e Pesquisas na Psicologia Sócio Histórica que me oportunizou conhecer o rigor teórico metodológico do método materialista histórico e dialético como ferramenta de pesquisa, modo de perceber o mundo, de sentir e de partilhar experiências. Sem esses conhecimentos a pesquisa seria inviável e não teria a compreensão que hoje tenho da importância da psicologia soviética para proposta de uma educação capaz de emancipar os sujeitos sociais. Agradeço à oportunidade de conviver com todos os membros do grupo Cristiane, Isolina, Chiquinho, Dirno, Nazaré, Elayna, Jean, Ivana, Soraya, Magnólia, Lucélia, Rafaela, Bonfim (se aqui faltou um nome é por que não quero ser extensivo), por estarem sempre comigo nos encontros e fora deles partilhando experiências formativas.

Às professoras Vilani e Eliana, calma e furacão, tese e antítese, mas que juntas proporcionaram um infinito manancial de possibilidades de problematização de meu objeto de pesquisa. Agradeço pelos conselhos diretos e indiretos, por tirarem minhas dúvidas, por me proporcionarem mais dúvidas, por me apresentarem diversas formas de pensar o que antes pensava de modo monolítico. Pelas sugestões, dicas e companheirismo tanto na vida “de verdade” quanto nesse caminho acadêmico, às vezes tão tortuoso, espero contar sempre com vocês.

De modo especial ao Professor Dr. Neuton Alves por seu carinho e esmero no trato com os seus alunos do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pelos seus valiosos conselhos, pelo convite para integrar o NEPSH, por toda a sua intensidade de viver, de expressar, de sentir o outro na sua plenitude. Agradeço pela confiança, pelo respeito, pela

motivação, pelas críticas sempre ponderadas e esclarecedoras, pelas aulas sempre bem fundamentadas no método.

Ao orientador desse trabalho, Boniek Venceslau da Cruz Silva, pelo imenso ser humano, que com sua simplicidade de vestir, de gesticular, de falar sempre com a palavra certa, olhar rápido, tem sempre algo a acrescentar no que inicialmente pensávamos, sempre mostrava outra forma de encarar o objeto, sem impor nada, convence pelo argumento, pelo conhecimento e pela permissão de pensarmos por nós mesmos, sem limites de força; o limite sempre se impunha pelo objeto e pelo método usado. Muito obrigado pela ajuda no delineamento de meu Norte como pesquisador, integrando História, Filosofia, Educação e Física.

Aos meus alunos de 2005 até os dias atuais que sempre fizeram eu exigir muito deles e de mim mesmo, que me auxiliaram no meu processo de formação continuada seja fornecendo o valioso feedback seja como sujeito-objeto dos métodos e técnicas problematizadas, por me mostrarem caminhos nos quais me enveredei se medo de me perder. Por terem montado e apresentado experimentos que de outra forma eu nunca teria visto em vida. Por sempre toparem os desafios que proponho, por sempre irem além de minhas expectativas, por partilharem as formas de ver e sentir o mundo. Agradecimento a meus ex-alunos hoje amigos ou colegas de profissão Gilciane Mendes, Andrea Tomaz, Edna, Maritissa, Gustavo Brito, Marcos, Acon Brandão, Denise Dália, Henrique, Adriano, Antony, Alexandro, Vanessa.

Ao Projovem Urbano por me possibilitar experiências formativas e docentes fundamentadas numa problematização contemporânea da cultura jovem e numa problematização freiriana da Educação de Jovens e Adultos. Por ter me proporcionado um vasto leque de experiências formativas principalmente fora de sala de aula, no contato quente com a vida real, repleta de tensões e contradições, que só enriquecem aquele que possui um olhar municiado pela teoria.

Gostaria de tecer um agradecimento especial à CAPES, que nesses tempos de incertezas e de desorientação social e política, forneceu apoio financeiro para a realização dessa pesquisa de modo que sem esse apoio, não seria possível empregar as energias e o tempo nessa empreitada para produzir o documento que se encontra nas mãos de quem lê.

Agradeço também aos amigos do Instituto de Criminalística de Timon por acompanharem todo o processo de confecção deste trabalho, não se cansando de ouvir os passos, os vacilos, as incertezas. Não posso deixar de reconhecer as preciosas colaborações do Dr. Fabricio Mesquita, que diversas vezes leu meus manuscritos, da Dra Giseli Ribeiro, do Dr. Raimundo Nonato e do Dr. José Carlos Cunha. Com vocês nunca me senti só.



Também gostaria de agradecer aos professores do Programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do polo 26 – UFPI –, pelos preciosos ensinamentos, ao longo do curso, por diminuírem a solidão de ser professor de Física e por depois desse processo formativo, serem hoje meus amigos. Não tem como esquecer das aulas, das brincadeiras, das conversas regadas ao café da lanchonete do Assis, onde diversas vezes encontramos a professora Dra. Hildamara, com sua voz potente, seu sorriso largo e toda a sua inquietude que instiga. Também não tem como esquecer a professora Dra. Socorro Leal, que com sua voz suave compartilhava suas experiências de vida, que exigia, com seus comentários e perguntas desconcertantes, saber exigir sem impor, saber cobrar com amor, um grande ensinamento. Agradeço também ao professor Dr. Marcos Lira, que com suas aulas de Eletromagnetismo I forneceu diversas pistas por onde enveredei na elaboração do presente trabalho. Ao professor Dr. Paulo, que em suas aulas de Física Quântica I apresentou um modo diferente de conceber a realidade microscópica, sempre com a preocupação didática. Ao amigo, professor e grande ser humano. Dr. Francisco Barbosa, o Chicão, que no seu modo paciente, na sua forma de se arriscar, por sempre estar lendo e estudando, sempre se renova e nos impõe pelo amor ao saber, uma forma de intelectual orgânico gramsciano a ser seguida.

Aos homens meus irmãos na terra que, graças à cultura e à memória, permitem que comecemos, sempre do ponto de onde alguém parou. E assim exercemos a nossa difícil atividade na intenção de afirmarmos a nossa humanidade, sempre questionada.

## ALUCINAÇÃO

*Eu não estou interessado em nenhuma teoria  
Em nenhuma fantasia, nem no algo mais  
Nem em tinta pro meu rosto, ou oba oba, ou melodia  
Para acompanhar bocejos, sonhos matinais  
Eu não estou interessado em nenhuma teoria  
Nem nessas coisas do oriente. Romances astrais  
A minha alucinação é suportar o dia-a-dia  
E meu delírio é a experiência com coisas reais  
Um preto, um pobre, uma estudante  
Uma mulher sozinha, blue jeans e motocicletas  
Pessoas cinzas normais. Garotas dentro da noite  
Revólver, cheira cachorro  
Os humilhados do parque com os seus jornais  
Carneiros, mesa, trabalho  
Meu corpo que cai do oitavo andar  
E a solidão das pessoas dessas capitais  
A violência da noite, o movimento do tráfego  
Um rapaz delicado e alegre. Que canta e requebra. É demais!  
Cravos, espinhas no rosto. Rock, hot dog  
Play it cool, baby. Doze jovens coloridos. Dois policiais  
Cumprindo o seu duro dever e defendendo o seu amor. E nossa vida  
Mas eu não estou interessado em nenhuma teoria  
Em nenhuma fantasia nem no algo mais  
Longe o profeta do terror que a laranja mecânica anuncia  
Amar e mudar as coisas me interessa mais...  
Mas eu não estou interessado em nenhuma teoria  
Em nenhuma fantasia nem no algo mais  
Longe o profeta do terror que a laranja mecânica anuncia  
Amar e mudar as coisas me interessa mais*

*Antonio Carlos Belchior*

## RESUMO

Essa pesquisa se ocupa do Ensino de Física tendo como norte as elaborações de seus saberes a partir de reflexões de cunho histórico e filosófico. Ela parte da seguinte questão de pesquisa: Quais as possibilidades de uma Estratégia Didática que incorpore elementos de História e Filosofia da Ciência, mediar a apropriação de conceitos relacionados aos Processos de Eletrização no Ensino Médio? Em relação ao objetivo geral, buscamos analisar as possibilidades de uma Estratégia Didática que incorpore elementos de História e Filosofia da Ciência, mediar a apropriação de conceitos relacionados aos Processos de Eletrização no Ensino Médio. E como objetivos específicos nos propomos a realizar estudos teóricos sobre a *História e a Filosofia da Ciência* no ensino de Física, com destaque para o tempo estrutural e para a mediação como elementos integrantes das narrativas históricas; elaborar a estratégia didática sobre Processos de Eletrização, como potencializador da apropriação de conceitos em Eletricidade; implementar a estratégia didática, contemplando situações teórico-práticas com elementos de História e Filosofia da Ciência no contexto da teoria da eletricidade; reconhecer os índices do par significados/sentidos elaborados pelos estudantes, participantes da pesquisa sobre a relação História-Filosofia-Física e suas possibilidades na apropriação de conceitos da Eletricidade. A metodologia utilizada na pesquisa foi a problematização de textos previamente elaborados, a apreciação crítica de um recurso audiovisual do gênero documentário e a montagem e problematização de experimentos históricos. Os sujeitos da pesquisa foram alunos de uma turma de 3ª série do Ensino Médio do Colégio Militar Tiradentes V, no município de Timon/MA. Como dispositivos de produção de dados utilizamos questionários abertos e produções textuais do tipo sínteses integradoras. Os dispositivos analíticos utilizados foi a análise textual discursiva, onde como principal categoria analítica foi o par significados/sentidos elaborados pelos sujeitos. Como principais resultados podemos destacar que o Ensino da Teoria da Eletricidade a partir da História e Filosofia da Física possui forte correlação com ferramentas avaliativas pautas na linguagem não matemática, sendo assim, uma rica fonte de acesso tanto às significações quanto aos sentidos elaborados pelos estudantes.

**Palavras-chave:** História da Eletricidade. Processos de Eletrização. Longa Duração. Par Significado/Sentido.

## ABSTRACT

This research deals with the teaching of Physics having as a guide the elaboration of their knowledge based on reflections of a historical and philosophical nature. It starts from the following research question: What are the possibilities of a Didactic Strategy that incorporates elements of History and Philosophy of Science, mediating the appropriation of concepts related to the Electrification Processes in High School? In relation to the general objective, we seek to analyse the possibilities of a Didactic Strategy that incorporates elements of History and Philosophy of Science, mediating the appropriation of concepts related to the Electrification Processes in High School. And as specific objectives we propose to carry out theoretical studies on the History and Philosophy of Science in the teaching of Physics, with emphasis on structural time and mediation as integral elements of historical narratives; to elaborate the didactic strategy on Electrification Processes, as a potentiator of the appropriation of concepts in Electricity; implement the didactic strategy, contemplating theoretical-practical situations with elements of History and Philosophy of Science in the context of electricity theory; recognize the indexes of the pair meanings/senses elaborated by the students, participants in the research on the History-Philosophy-Physics relationship and its possibilities in the appropriation of Electricity concepts. The methodology used in the research was the problematization of previously prepared texts, the critical appreciation of an audio-visuals resource of the documentary genre and the assembly and problematization of historical experiments. The research subjects were students from a 3rd grade class at Colégio Militar Tiradentes V, in the municipality of Timon/MA. As data production devices we use open questionnaires and textual productions of the type integrative syntheses. The analytical devices used were the discursive textual analysis, where the main analytical category was the pair of meanings/senses elaborated by the subjects. As main results we can highlight that the Teaching of Electricity Theory from the History and Philosophy of Physics has a strong correlation with assessment tools based on non-mathematical language, being, therefore, a rich source of access to both the meanings and the senses elaborated by the students.

**Keywords** History of Electricity. Electrification Processes. Long Duration. Duality Meaning/Sense.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Representação esquemática do perpendicular de Fracastoro .....	76
<b>Figura 2</b> Representação do Versório de Gilbert .....	77
<b>Figura 3</b> Representação da máquina elétrica e da repulsão elétrica .....	79
<b>Figura 4</b> Representação da máquina elétrica transformada .....	82
<b>Figura 5</b> A transmissão de eletricidade em longas distâncias .....	89
<b>Figura 6</b> Representação esquemática do experimento da levitação de materiais produzida por corpo humano eletrizado .....	91
<b>Figura 7</b> O barômetro de mercúrio .....	99
<b>Figura 8</b> Garrafa de Leyden.....	102
<b>Figura 9</b> Armazenamento de eletricidade em uma Garrafa de Leyden .....	103
<b>Figura 10</b> Eletróforo. ....	108
<b>Figura 11</b> O eletroscópio de folhas de Bennet.....	109
<b>Figura 12</b> O dobrador elétrico .....	110
<b>Figura 13</b> Eletrômetro de Richmann .....	112
<b>Figura 14</b> Balança elétrica de torção .....	114
<b>Figura 15</b> A pilha de Volta .....	126

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Distribuição dos sujeitos da pesquisa por gênero.....	141
<b>Tabela 2</b> - Distribuição etária dos sujeitos da pesquisa .....	142
<b>Tabela 3</b> - Relação entre as quantidades de séries cursadas no Colégio Militar Tiradentes V e o total de alunos da turma pesquisada .....	143
<b>Tabela 4</b> - Estimativa de tempo para problematização dos textos históricos. ....	153
<b>Tabela 5</b> – Características quantitativas das repostas dadas aos textos .....	180
<b>Tabela 6</b> - Características quantitativas das repostas dadas às questões do Texto 1 .....	182
<b>Tabela 7</b> - Quantitativo e percentual das repostas corretas dadas a cada questão do Texto 01 .....	183
<b>Tabela 8</b> - Quantitativo e percentual das repostas corretas dadas a cada questão do Texto 02 .....	188
<b>Tabela 9</b> - Características quantitativas das repostas dadas às questões do texto 3 .....	191
<b>Tabela 10</b> - Quantitativo e percentual das repostas corretas dadas a cada questão do Texto 03 .....	193
<b>Tabela 11</b> - Características quantitativas das repostas dadas às questões do Texto 4 .....	198
<b>Tabela 12</b> - Quantitativo e percentual das repostas corretas dadas a cada questão do Texto 04 .....	200

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Resumo dos procedimentos efetivados durante a atividade de pesquisa.....	138
<b>Quadro 2</b> - Resumo do processo de problematização dos textos históricos .....	152
<b>Quadro 3</b> - Correlações entre os conteúdos físicos abordados nos quatro textos e as possibilidades de discussões relacionadas à História e Filosofia da Ciência. ....	155
<b>Quadro 4</b> - Correlações entre aspectos relacionadas à História e Filosofia da Ciência e aspectos relativos à História da Eletricidade extraídos do Texto 1.....	156
<b>Quadro 5</b> - Análise das questões do Texto 1 .....	157
<b>Quadro 6</b> Correlações entre aspectos relacionadas à História e Filosofia da Ciência e aspectos relativos à História da Eletricidade extraídos do Texto 2.....	158
<b>Quadro 7</b> Análise das questões do Texto 2 .....	159
<b>Quadro 8</b> - Correlações entre aspectos relacionadas à História e Filosofia da Ciência e aspectos relativos à História da Eletricidade extraídos do Texto 3.....	159
<b>Quadro 9</b> - Análise das questões do Texto 3.....	161
<b>Quadro 10</b> - Correlações entre aspectos relacionadas à História e Filosofia da Ciência e aspectos relativos à História da Eletricidade extraídos do Texto 4. ....	162
<b>Quadro 11</b> - Análise das questões do Texto 4.....	164
<b>Quadro 12</b> – Respostas representativas das questões do Texto 1 .....	184
<b>Quadro 13</b> – Respostas representativas das questões do Texto 2 .....	189
<b>Quadro 14</b> – Respostas representativas das questões do Texto 3 .....	194
<b>Quadro 15</b> – Respostas representativas das questões do Texto 04 .....	202

## SUMÁRIO

---

---

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1 O Percurso da Formação Cultural (Bildung) ao desejo da Experiência (Erfahrung): constituição de um pensar e um fazer em Ensino de Física .....	17
1.2 Motivação e Objetivos.....	22
1.3 Metodologia de Desenvolvimento do Trabalho .....	25
1.4 Organização do Trabalho .....	27
<b>2 PRESSUSPOSTOS HISTÓRICOS, FILOSÓFICOS E EDUCACIONAIS .....</b>	<b>29</b>
2.1 Linguagem e o Ensino de Física.....	29
2.2 Ensino de Física entre a Formação Cultural (Bildung) e a Experiência (Erfahrung).....	36
2.3 A análise conceitual histórica e o Ensino dos Processos de Eletrização .....	46
<b>3 PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO.....</b>	<b>58</b>
3.1 Do longínquo tempo estrutural à Máquina Elétrica: da visão espontânea ao olhar municiado de teorias.....	63
3.1.1 Tales de Mileto, outros antigos e medievais: uma história de longa duração .....	66
3.1.2 Da bússola magnética ao trabalho de compilação de saberes .....	70
3.1.3 Os antecedentes da máquina elétrica: o perpendicular e o versório.....	74
3.1.4 A máquina elétrica e a aceleração dos estudos dos fenômenos atrativos em corpos atritados 78	
3.2 Da máquina elétrica à Garrafa de Leyden: o modelo da eletricidade como um fluido .....	84
3.2.1 Os experimentos realizados com a máquina elétrica e a ampliação das possibilidades da eletricidade.....	87
3.2.1.1 Experimentos de Stephen Gray: a transmissão da eletricidade, a produção de luz e os efeitos fisiológicos da eletricidade .....	87
3.2.1.2 Experimentos de Du Fay: o comportamento ACR, as duas formas de eletricidade e as imagens sem nitidez de uma teoria formal da eletricidade.....	93
3.2.2 Francis Hauksbee: produção de luz, relações políticas e concentração de esforços no projeto da Mecânica newtoniana .....	97
3.2.3 A Garrafa de Leyden: o armazenamento da eletricidade .....	101



3.3 Da Garrafa de Leyden à pilha voltaica: um corpus teórico existente sem uma fundamentação em princípios, mas com hipóteses, leis gerais e diversos modelos teóricos explicativos .....	105
3.4 Controvérsias entre as ideias de eletricidade como um fluido único e da eletricidade como dois fluidos distintos.....	116
3.5 A eletricidade atmosférica.....	119
3.6 A teoria da eletricidade entre o Galvanismo e a pilha voltaica .....	121
3.7 Galvanismo e a pilha de Alessandro Volta.....	124
3.8 O aprimoramento técnico da pilha elétrica e a constituição da ideia de corrente elétrica	127
3.9 Os desdobramentos posteriores da teoria eletromagnética: Da pilha voltaica ao experimento de Milikan.....	130
<b>4 PERCURSO METODOLÓGICO.....</b>	<b>135</b>
4.1 Apresentando as características e a dinâmica da pesquisa.....	135
4.2 O contexto da pesquisa: .....	139
4.2.1 A caracterização do local da pesquisa.....	139
4.2.2 A caracterização dos sujeitos da pesquisa.....	141
4.2.3 A organização administrativa e pedagógica do espaço escolar .....	143
4.3 Os instrumentos de produção dos dados .....	145
4.3.1 A técnica do questionário aberto e a atividade livre inicial .....	145
4.3.2 Apreciação Crítica do Documentário.....	148
4.3.3 Os textos históricos, as características e os objetivos dos questionários abertos.....	151
4.3.4 As atividades experimentais:.....	167
4.3.5 A auto avaliação e a síntese integradora: .....	169
<b>5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS PRODUZIDOS.....</b>	<b>171</b>
5.1 A atividade inicial .....	172
5.2 A apreciação crítica do documentário.....	174
5.3 Os textos históricos .....	180
5.3.1 O texto 01: Dos fenômenos aos registros escritos: a domesticação de um olhar pelas tentativas de explicação .....	181
5.3.2 O texto 02: Dos primeiros dispositivos materiais à máquina elétrica.....	186

5.3.3 O texto 03: Da máquina elétrica à Garrafa de Leyden.....	191
5.3.4 O texto 04: Da Garrafa de Leyden à pilha voltaica: uma teoria constituída sem uma fundamentação em princípios gerais .....	198
5.4 As atividades experimentais .....	207
5.5 As sínteses integradoras e as autoavaliações .....	209
<b>6 PARA NÃO CONCLUIR OU CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>237</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>248</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>254</b>

# 1 INTRODUÇÃO

---

*Podemos [...] perguntar se a relação entre o narrador e sua matéria – a vida humana – não seria ela própria uma relação artesanal. Não seria a sua tarefa trabalhar a matéria prima da experiência – a sua e a dos outros – transformando-a num produto sólido, útil e único? [...] O narrador [...] pode recorrer ao acervo de toda uma vida (uma vida que não inclui apenas a própria experiência, mas em grande parte a experiência alheia [...]). Seu dom é poder contar a sua vida, sua dignidade é poder conta-la inteira. (BENJAMIN, 1987, p. 221)*

## **1.1 O Percurso da Formação Cultural (Bildung) ao desejo da Experiência (Erfahrung): constituição de um pensar e um fazer em Ensino de Física**

Ao longo do percurso escolar, majoritariamente em escolas públicas estaduais da periferia de Teresina e depois em Intuições de Ensino Superior federais, como numa espécie de conflito ontológico, sempre fui confrontado com a necessidade ou a preocupação com a reprodução da existência material imediata de um lado e do outro lado com a pressão para transcender a esse estado de coisificação imposta pelas artificialidades que foram aderidas ao universo do trabalho. Dessa feita, uma tensão permeou e ainda permeia a minha relação com a profissão, o saber e as instituições de ensino com as quais me relacionei e com as quais mantenho relações no presente.

Confrontando a realidade do mercado de trabalho que clamava por mim com o cotidiano das atividades escolares sentia uma defasagem da escola em relação a meu outro universo e desses dois com as minhas aspirações ainda não totalmente evidenciadas para mim. Não bastasse esses conflitos, que possivelmente não sejam exclusivos de minha pessoa, toda uma sorte de pressões da sociedade de consumo contemporânea, das exigências de pertencimento a determinados grupos sociais veiculados e defendidos nos meios de comunicação de massa também assombravam a minha relação com a escola.

A escola como meu refúgio privilegiado embora não abarcasse a minha inteireza, possibilitou uma série de experiências singulares marcadas por discursos redentores, apocalípticos, pessimistas e falaciosos, que se por um lado apresentavam os problemas estruturais da escola pública, atravessada pela cultura de massa e pelas pretensões dos poderes socialmente constituídos, por outro não apontavam para quaisquer direções a partir das quais fosse possível encontrar alguma solução.

Foi nesse contexto que consegui permanecer na escola até chegar ao ensino superior, consciente que o espaço que me acolhia era o mesmo que me excluía. Com resignação e

parcimônia, ironicamente retorno para a escola pública, só que agora do outro lado, como professor, tendo o privilégio de pensar projetivamente e regressivamente, ainda me vendo no lugar de aluno, lugar este que talvez eternamente ocupe. Ora quando da Educação Básica, principalmente no Ensino Médio, uma das e talvez a mais brutal exclusão por mim experienciada foi a da negação da possibilidade de pensar a Física.

Iniciando a minha vida escolar no início da década de 90 do século passado, coincidentemente um ano depois que João Zanetic expunha a sua tese de doutoramento intitulada **Física também é cultura**, no contexto das acaloradas discussões que gravitavam na vizinhança da Lei de Diretrizes e Bases da Educação, da escassez de professores, do violento processo de pauperização da força de trabalho docente e da ausência de políticas públicas consistentes voltadas para a educação; fiz-me aluno. Passando pelo Ensino Fundamental, fiz provas de cinco questões, as quais eram retiradas de uma revisão de dez questões dada pelo professor uma ou duas aulas antes das avaliações.

Havia um senso comum estudantil do segredo para o sucesso: bastava memorizar a revisão, despejá-la nervosamente no papel e pouco tempo depois esvaziar a mente, preparando-a para uma nova jornada de memorizações. Receita seguida, sucesso garantido, aceitação por todos os professores, a nota dez acompanhada de um cursivo parabéns.

Assustadoramente, o mesmo sistema de funcionamento cabia no Ensino Médio, diferenciando do Ensino Fundamental somente pelo aumento do volume de dados a serem memorizados, pelo modo veloz como o cotidiano escolar transcorria e pelo maior distanciamento dos professores em relação aos alunos. Aqui a contrapartida pelo excesso dos dados a serem tabulados numa memória rasa era dada pela exigência de somente se marcar um “X” em uma de cinco alternativas de resposta. Assim, ao longo das três séries do Ensino Médio, fui treinado em lógica formal de modo a conseguir o êxito mesmo sem ter os conhecimentos mínimos para responder as avaliações. Assim foram muitos X marcados não só nas provas como também nas tarefas para casa e nos exercícios em sala de aula. Parece que ainda nos dias de hoje, pouca coisa mudou nessa dinâmica do Ensino Médio. Na última série do Ensino Médio, como num estalo marcuseano, rompi essa dinâmica, no auge da crise existencial finalista da Educação Básica, resumida nos seguintes questionamentos, possivelmente feitos pela maioria dos estudantes: De que me valeu esses doze anos de escola? O que aprendi? E no próximo ano, como será minha vida longe dos bancos escolares?

A dúvida pode ativar diversos comportamentos ao sabor da experiência do sujeito que a formula. No caso em questão, houve um impulso direcionado para o conhecimento, uma ação original de enfrentamento do presente, onde de modo pragmático voltei minha atenção para o

Ensino Fundamental I e II. Consegui todo o material didático, de todas as disciplinas e devorei, sanei algumas feridas, vi assuntos que nunca vira em sala, experienciei o saber de modo solitário, pagando um alto preço pela defasagem sem sujeito a ser responsabilizado. Sempre correndo atrás do que um dia foi perdido, experienciei o ensino superior, a pós-graduação e retornei para a sala de aula com o propósito de assumir essa responsabilidade pela defasagem entre a educação e a escolarização, a culpa da defasagem, sempre com o desejo, muitas vezes não efetivado, de propor uma reflexão para além do conteúdo curricular a ser ministrado em um ano letivo ou mesmo no curso ofertado.

O primeiro impacto sofrido quando da primeira experiência docente numa escola pública da periferia de Teresina, foi a percepção que de tudo que me foi ofertado no meu Ensino Superior pouca coisa poderia me auxiliar na tarefa diária de lecionar, seja pela minha imaturidade intelectual seja pela limitação mesmo do conhecimento que fora compartilhado comigo. Já tinha me apropriado das ferramentas do Cálculo Integral, dos Sistemas Dinâmicos, Mecânica Clássica, Mecânica Quântica, Física Estatística, Métodos de Física Teórica e um vasto rol de conhecimentos refinados, de elaboração complexa e abstrata, de alto poder de síntese e que no instante decisivo de atuar na atividade fim para a qual fui treinado, todo esse saber estava inerte, imobilizado, incapaz de cumprir sua função social.

Estava perdido. Os alunos, sensíveis à captação do imediato, de cara compreenderam que não havia muito o que fazer: *Física é difícil mesmo. Ninguém aqui vai aprender esse negócio? Nem o professor mesmo sabe direito. O professor sabe só para ele, mas não sabe transmitir.* Essas e outras frases feitas, clichês do cotidiano do professor de Física colocaram em dúvida o meu propósito e a minha trajetória de vida intelectual. Poderia, pois, agir de modo mecânico, justificar tudo pela falta de base, pela falta de recursos para a educação, pela omissão estatal, pôr a culpa na tecnologia que distrai a juventude, ocupar os intervalos entre uma ou outra postura, mas sempre com comentários nihilistas. Até fiquei tentado a adotar essa postura mais cômoda, porém por pouco tempo.

O desenvolvimento da atividade docente também se faz na própria prática docente. Não aquela prática mecanizada, distante da relação autêntica com os sujeitos escolares. O olhar municiado do docente que se coloca como um problema a ser investigado pelo próprio investigador: sujeito e objeto sintetizados dialeticamente, atuando por tentativa e erro, criando um plano individual e coletivo de desenvolvimento da atividade, de maturação da prática, dos métodos e técnicas de ensino, dos sistemas de avaliação e dos diversos elementos que influenciam o cotidiano escolar e com o principal objetivo de compartilhar ou possibilitar experiências formativas.

Assim foi feito e em pouco tempo foi percebido que o que mais distanciava docentes e discentes era o instrumento criado para mediar, expressar e unir o humano: a linguagem. Desde então, um dos problemas primordiais no qual centro a atenção é na relação da linguagem com o Ensino de Física, nas diferenças semânticas, nos diferentes níveis de linguagem presentes num dado contexto escolar (a linguagem intrínseca do sujeito que ensina, a linguagem escassa do sujeito que precisa aprender e a linguagem dos instrumentos de mediação entre esses dois sujeitos).

No rol dessas preocupações foi percebido, como ferramenta educativa, a limitação da linguagem simbólica matemática e a infinita riqueza de possibilidades das linguagens diversificadas, como a própria língua materna falada ou escrita, a linguagem artística (visual, sonora, literária, quadrinhos, etc.). Quando atentei para as formas de construção das narrativas do conhecimento em Física em livros didáticos, tanto da Educação Básica quanto do Ensino Superior, concentrando em seus aspectos linguísticos, comecei a perceber algumas limitações dessas narrativas não só no que diz respeito à pobreza da linguagem utilizada em detrimento das linguagens passíveis de utilização, mas principalmente no que diz respeito a questões relacionadas à História da Física e à Filosofia da Física, na construção da narrativa, nos implícitos, nos termos empregados, nas crenças difundidas, nos preconceitos embutidos nas formas de apresentar o saber.

Esses problemas não são evidenciados de modo explícito, mas nas sutilezas das construções teóricas, nos argumentos utilizados para apresentar um dado conceito, ou mesmo na convicção do sujeito que detém o poder da fala. Devido a essa sutileza de manifestação, nós professores de Física dificilmente tratamos diretamente desses problemas quando de nossa atividade docente. Antes nos limitamos a discutir o objeto a ser apreendido relacionando-o com um cotidiano imaginário de um discente idealizado e com a tecnologia, então entendida como um *locus* privilegiado de manifestação do saber em Física.

Ora o pesquisador em Ensino de Física no Brasil é um personagem academicamente recente. Embora tenhamos uma proliferação considerável de pesquisas, ainda tateamos um *corpus* teórico-metodológico sólido passível de uso referencial capaz de abarcar a totalidade do Ensino de Física, sendo que há diversas propostas consoante com a resposta individual dos pesquisadores aos problemas propostos (SALEM, 2012).

Nessa empreitada, as relações da História e Filosofia da Ciência com o Ensino de Física tem atraído a atenção de diversos pesquisadores, inaugurando as mais diferentes formas de abordagens tanto no que diz respeito aos objetos de pesquisa quanto os métodos e técnicas utilizadas. Basta aceitarmos que cada símbolo matemático usado em Física possui um

significado e que tanto o significante quanto o significado possuem cada um a sua história. Além disso as ideias que hoje se apresentam como verdade científica nos manuais de ensino, como conhecimentos óbvios e eternos, também possuem as suas historicidades.

Assim cada teoria, cada fragmento de uma teoria específica, cada ideia em Física é um infinito campo de possibilidades de problematização histórica e filosófica dependendo dos questionamentos postos pelo sujeito, e como o sujeito é histórico, temos um problema de pesquisa dentro de outro problema de pesquisa de modo que toda produção intelectual acerca da História e Filosofia da Ciência é também uma produção histórica que pretende dar respostas a questionamentos localizados em tempos e espaços específicos.

Com essa perspectiva a nos guiar pela atividade de pesquisa, concentramos nossos esforços na proposição de uma estratégia didática que contenha elementos de História e Filosofia da Ciência elaborada tendo como objeto de problematização as narrativas historiográficas que possibilitaram a criação do corpus teórico que sustenta a teoria dos processos de eletrização.

Tomamos o conhecimento em Física não como algo estático, mas em constante movimento, a partir da disputa e do conflito como componente fundamental da constituição desse saber, como um elemento integrante e essencial da cultura contemporânea, com forte apelo à sua vinculação com a tecnologia contemporânea. Nesse contexto, inferimos que há uma multiplicidade básica nas práticas científicas relacionadas aos processos de eletrização, que nos permite reconstruir os significados e os sentidos dados para significantes que hoje fazem parte do vocabulário ordinário do físico que se ocupa com o estudo da eletricidade.

A proposta teórica do presente trabalho no que se refere à elaboração de narrativas de história da ciência visa a superação dessas formas de experimentar o devir da ciência, bem como também superar a dicotomia estanque entre as perspectivas internalista e externalista há muito consolidadas quando se trata da História da Ciência. Para tal propomos uma leitura compreensiva do passado, atentando para as durações, para os elementos culturais e sociais bem como pela interação do sujeito histórico com os elementos materiais de sua cultura como fenômeno capaz de constituir o psiquismo do sujeito.

Reconhecemos a necessidade de uma reflexão acerca de problemas epistemológicos, teóricos e metodológicos no que diz respeito ao Ensino de Física, à História da Física e à Filosofia da Física, tateando uma proposta consistente para essas três formas de manifestação do conhecimento humano. Somente ao estabelecer alguns pontos nodais desses saberes, é possível discutir as especificidades e as nuances da construção da ideia de processos de eletrização enfatizando as alterações nas estruturas mentais dos sujeitos históricos quando da

interação social com instrumentos criados com a finalidade mediadora do que era tido como realidade com as concepções subjetivas acerca dessa realidade, enfatizando o papel mediador dos dispositivos conhecidos como máquina elétrica, Garrafa de Leyden e pilha voltaica.

## 1.2 Motivação e Objetivos

A relação da História e Filosofia da Ciência com o Ensino de Física, no Brasil, desde a década de 70 do século passado é fruto de acalorados debates, configurando-se como um espaço fértil de problematizações acerca de projetos educacionais, de conotações e denotações do termo ciência e de embates políticos, de polifonias discursivas no que diz respeito à constituição dos passados da ciência. Em síntese há inúmeras propostas de projetos de Ensino de Física, de Filosofia da Ciência, e de História da Ciência, cada uma delas atreladas a um dado projeto de sociedade e elaborada por um grupo social específico.

Essa rede complexa de tensões no entorno desses três campos de saber não é de todo elucidada ou compreendida sem que nos apropriemos de um ferramental teórico e da compreensão de como esses três campos de saber se correlacionam, tensionam-se, reforçam-se e regulam-se, criando um corpo aparentemente homogêneo, coeso e objetivo, mantido, questionado, reproduzido, modificado por um corpo coletivo constituído por alunos, professores, historiadores, filósofos, epistemólogos, lógicos, matemáticos e diversos outros atores sociais.

Uma proposta consistente e consoante com as pretensões de uma educação inclusiva em Ensino de Física emerge do trabalho de diversos pesquisadores, como João Zanetic, reverbera pelas instituições de ensino superior a partir do final do século passado e inaugura uma nova forma de conceber o Ensino de Física em território brasileiro, apresentando um Ensino de Física integrado com diversos outros elementos da cultura contemporânea sob um modelo teórico do materialismo histórico e dialético, privilegiando diversas formas de representações e linguagens, que não só a linguagem matemática.

Entretanto, mesmo com essas pesquisas, ainda temos uma grande lacuna no que diz respeito a livros e materiais didáticos disponíveis em nossa língua vernácula que se ocupam primordialmente com temas relativos a História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física. Mais escassas ainda são as pesquisas acadêmicas que se ocupam da História dos Processos de Eletrização. Essas ausências, por si só, justificariam a empreitada que culminou com o presente trabalho.



Porém o recorte realizado se impõe também por uma série de necessidades tanto de caráter histórico quanto sociológico. Na estruturação sequencial dos conteúdos de Física no Ensino Médio observa-se um gradativo empobrecimento da dimensão histórica do saber. Se na primeira série há um forte apelo positivista da consolidação da ciência moderna de Galileu e Newton como combatentes da suposta ignorância, do uso cristão tendencioso do ingênuo saber aristotélico; na segunda série a dimensão histórica perde força em detrimento da apresentação dos saberes matematizados encarados como verdades eternas, sem passado e sem futuro.

Na terceira série a dimensão histórica é colapsada por um conjunto de anacronismos que aproxima o distante temporal, como no caso dos movimentos atrativos de corpos de pequena massa atritados no âmbar, observados pelos gregos já no século IV a. C.; e distância o próximo temporal, como os conhecimentos do final do século XIX que proporcionaram a constituição da ideia de elétron como uma partícula massiva dotada de uma propriedade, a carga elétrica. De uma ideia a outra existe um tempo de longa duração de mais de dois mil anos, um conjunto de disputas, uma infinidade de possibilidades teóricas que, quando silenciadas, escamoteiam a dinâmica epistemológica e, conseqüentemente, didática do saber acerca da Teoria da Eletricidade vigente na contemporaneidade.

Na apresentação dos conteúdos de Física no Ensino Médio, a dimensão coletiva e social da produção do saber é diminuída em detrimento da já constituída imagem do gênio que por um meritocrático esforço individual e por um talento inato consegue acessar o mundo das ideias platônicas onde repousam os segredos da natureza e desvelam, descobrem os segredos, tornando-os acessíveis àqueles que não tiveram as capacidades mentais de acessar esses segredos. Ora essa forma de apresentar o saber, não deixa de ter um implícito do elogio ao individualismo característico da sociedade contemporânea massificada pautada no consumo.

Assim, a pesquisa se ocupa do Ensino de Física tendo como norte as elaborações de seus saberes a partir de reflexões de cunho histórico e filosófico. Ela parte da seguinte questão de pesquisa: Quais as possibilidades de uma Estratégia Didática que incorpore elementos de História e Filosofia da Ciência, mediar a apropriação de conceitos relacionados aos Processos de Eletrização no Ensino Médio? O objetivo geral é analisar as possibilidades de uma Estratégia Didática que incorpore elementos de História e Filosofia da Ciência, mediar a apropriação de conceitos relacionados aos Processos de Eletrização no Ensino Médio.

E como objetivos específicos nos propomos a:

- i. Realizar estudos teóricos sobre a *História e a Filosofia da Ciência* no ensino de Física, com destaque para o tempo estrutural e para a mediação como elementos integrantes das narrativas históricas;

- ii. Elaborar a estratégia didática sobre Processos de Eletrização, como potencializador da apropriação de conceitos em Eletricidade;
- iii. Implementar a estratégia didática, contemplando situações teórico-práticas com elementos de História e Filosofia da Ciência no contexto da teoria da eletricidade;
- iv. Reconhecer os índices do par significados/sentidos elaborados pelos estudantes, participantes da pesquisa sobre a relação História-Filosofia-Física e suas possibilidades na apropriação de conceitos da Eletricidade

O presente trabalho é uma proposta de uma estratégia didática que incorpora elementos de História e Filosofia da Ciência que persegue o movimento da constituição dos saberes relativos aos processos de eletrização, efetivada em turmas de 3ª Série do Ensino Médio, tendo como objetivo a problematização histórica e filosófica do saber em Física a partir da Teoria da Eletricidade como uma possibilidade de enfrentamento dos problemas elencados acima. Também há a proposição da apresentação dos conteúdos de um modo menos compartimentado, vez que de uma forma ou de outra trataremos dos efeitos da corrente elétrica, do magnetismo, da lei do inverso do quadrado para a eletricidade e para o magnetismo e atração gravitacional.

Para tal empreitada atentamos para o conceito de tempo histórico estrutural apresentado por Fernand Braudel, para uma proposta de explicação de conjunto a partir da mediação dos sujeitos históricos com os instrumentos materiais criados única e exclusivamente com a finalidade de se estudar os fenômenos elétricos como uma das condições necessárias para as alterações nas estruturas mentais desses sujeitos e o que permitiu a consolidação da teoria da eletricidade nos moldes como a conhecemos hoje.

Além disso as narrativas históricas elaboradas pretendem evitar algumas construções textuais típicas das narrativas recorrentes em História e Filosofia da Ciência que historicamente tiveram forte influência do Operacionalismo, da Lógica Formal, do Positivismo e do Neopositivismo. Isso é feito buscando uma aproximação com as propostas teórico metodológicas da *Escola dos Annales* em relação à História, principalmente dos conceitos elaborados por Fernand Braudel, e das propostas filosóficas do Realismo Científico, principalmente com o uso de alguns conceitos elaborados por Mario Bunge em relação à Epistemologia e à Filosofia da Física.

Assim, a estratégia didática proposta se coloca como uma oportunidade de se discutir questões relacionadas a história e filosofia da Física tendo como tema gerador os fundamentos da teoria elétrica e a elaboração de modelos teóricos explicativos relativos aos fenômenos de eletrização. Como parâmetro norteador da discussão histórica temos uma articulação da proposta temporal da longa, média e curta duração, e como parâmetro da discussão filosófica,

o materialismo conceitualista e ficcionista. Além disso, o elemento teórico que proporcione uma fundamentação pedagógica será perseguido no materialismo histórico e dialético com ênfase no conceito de experiência de Walter Benjamin.

### **1.3 Metodologia de Desenvolvimento do Trabalho**

Entendemos toda e qualquer pesquisa como um procedimento sistemático e generalista, pautado nas faculdades racionais do sujeito, no intuito de formular constructos teóricos ou práticos capazes de dar conta de uma classe de fenômenos, usando uma linguagem rigorosa e de modo pretensamente objetivo. Além disso, os constructos ainda devem ser passíveis de comprovação e de validação por diversos meios que não só a experimentação (BUNGE, 1980).

Prosseguindo o raciocínio, aceitamos que as pesquisas em Ensino de Física são pesquisas em ciências sociais (GIL, 1987). Além das propriedades acima elencadas para uma pesquisa científica, as pesquisas em Ensino de Física podem ser compreendidas como processos formais e sistemáticos de abordagem da realidade social do Ensino de Física com o intuito de obter respostas e compreender tal realidade, pelo viés científico, identificando seus aspectos contraditórios, suas mudanças quantitativas e qualitativas, o seu movimento.

É só a partir dessa compreensão que podemos intervir nessa realidade, conhecer para atuar, atuar para mudar. Por essas características a pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada, vez que se propõe a solucionar problemas práticos numa realidade circunstancial (GIL, 1987), e por sua base empírica e pelo engajamento do pesquisador na realidade pesquisada, porém num curto raio de ação, podemos identificar o presente trabalho como uma pesquisa participante (GIL, 2002).

Ainda segundo Gil (1987, p. 71) “[...] cada pesquisa possui um delineamento próprio peculiar, determinando pelo objeto de investigação, pela dificuldade na obtenção dos dados, pelo nível de precisão exigido e pelos cursos materiais de que dispõe o pesquisador.” Orientado por esse pressuposto, dividimos a pesquisa em três momentos distintos: a delimitação dos pressupostos teóricos metodológicos norteadores do trabalho, a elaboração de textos acerca dos processos de eletrização contendo elementos de História e Filosofia da Ciência e por último teremos a coleta, tabulação e análise dos dados.

Para delimitarmos os pressupostos teóricos metodológicos norteadores da pesquisa, elaboramos o primeiro capítulo contendo essencialmente três seções principais: uma destinada a esclarecer a concepção de história que permeia a pesquisa, uma para delimitar os pressupostos adotados acerca da Filosofia de Ciência e uma para esclarecer a concepção de Educação

admitida na pesquisa. Embora esses três elementos distintos se manifestem na pesquisa como uma totalidade indissociável, pois acreditamos que uma concepção específica de História da Ciência carrega consigo tanto uma concepção específica de Filosofia da Ciência como algumas crenças educacionais, uma dada postura filosófica que pondere o conhecimento científico tem consigo uma concepção de história e de educação, da mesma forma uma ideia de Educação tem embutida em si uma concepção de saber e uma concepção de tempo histórico. Assim na prática educativa Educação, História e Filosofia são três constituintes indissociáveis que se manifestam como totalidade quando das tarefas desenvolvidas no contexto do cotidiano escolar. Propusemos estas seções por razões pedagógicas.

No que tange a utilização das fontes na elaboração de um quadro teórico metodológico de referência, utilizaremos como possibilidade de imersão no contexto da perspectiva materialista da história da Ciência, algumas obras de Fernand Braudel, que nos possibilitarão uma ferramenta conceitual sobre História a partir da perspectiva da duração e da materialidade da cultura, atentando para as estruturas de longa duração, média duração e de curta duração, capaz de dar conta do movimento e do ritmo dessas estruturas no pensamento e no conhecimento que veio a constituir a ciência contemporânea (BRAUDEL, 1983).

Como pressuposto teórico metodológico no que se refere à Filosofia da Ciência propomos uma aproximação com o pensamento de Mario Bunge, a saber o realismo material e ficcional (BUNGE, 1980), elencando as principais características e propriedades de uma Filosofia da Física (BUNGE, 1973), capaz de abarcar as produções intelectuais sob a alcunha da Física e capaz também de organizar esse saber, apontando os caminhos para os desenvolvimentos futuros e para o abandono de discussões infrutíferas.

No âmbito educacional, o quadro teórico que permeia a presente pesquisa é fruto de um diálogo da prática cotidiana da atividade docente com a fundamentação teórica no materialismo histórico e dialético no que se refere às contradições entre Experiência (**Erfahrung**) e Formação Cultural (**Bildung**), onde o tempo categorial braudeliano é confrontado dialeticamente com o tempo da ação, onde a educação perde o seu caráter messiânico de consumação num futuro irrealizável para se realizar no tempo do intenso agora. Nesse aspecto, a educação manifesta uma dimensão estética, vinculada à vida do sujeito cognoscente (MITROVITCH, 2007).

Consciente dessas três realidades distintas, mas indissociáveis quando da prática efetiva em sala de aula, depois de um estudo analítico das obras que tratam da eletricidade num contexto histórico, elaboramos textos históricos acerca dos processos de eletrização, a partir da perspectiva da duração, da materialidade da cultura (BRAUDEL, 1987) e da mediação do sujeito com os instrumentos materiais, como elemento capaz de produzir mudanças qualitativas

no psiquismo desses sujeitos (VIGOTSKY, 2000a, 2000b). Tal empreitada foi realizada com o intuito de propor uma superação da dicotomia entre abordagem intencionalista<sup>2</sup> confrontada com a perspectiva externalista (ZANETIC, 1989), numa perspectiva de uma superação dialética destas, onde fosse possível a captação do movimento das ideias em seus contextos de produção, focando nos instrumentos materiais com os quais os sujeitos interagiram quando da elaboração do conhecimento sobre eletricidade.

O passo seguinte da pesquisa foi produzir dispositivos capazes de operar uma transposição didática desses textos com elementos de História e Filosofia da Ciência para problematizações em sala de aula na educação básica, no Ensino Médio, onde o desafio é transpor sem fazer retaliações, de modo que as partes selecionadas na construção contêm a totalidade da construção teórica, uma parte como uma representação do todo.

#### **1.4 Organização do Trabalho**

No segundo capítulo, de modo breve, são apresentados os pressupostos teórico-metodológicos referente a história, a educação e a filosofia tanto norteadores das problematizações contidas no presente trabalho quanto essenciais para o desenvolvimento dos capítulos seguintes. Aqui, fizemos uma opção teórica pelo tempo estrutural de longa, média e curta duração. Para não ficarmos presos na quase imobilidade da longa duração, propusemos um tempo histórico outro consoante com a prática educativa que é o tempo do intenso agora, sempre aberto para as transformações radicais engendradas pela ação antrópica crítica e consciente de si. Assim, buscamos uma orientação da prática em Ensino de Física inserida nas diversas contradições presentes no processo de escolarização, mas visando superá-las a partir da exploração de dimensões do conhecimento, principalmente no que diz respeito à problematização da Física a partir de linguagens que não só a matemática e a partir de uma abertura nos processos avaliativos, orientados tanto para perseguição dos significados quanto à apreensão dos sentidos elaborados pelos estudantes.

O próximo capítulo é uma leitura da história da consolidação da teoria da eletricidade desde os registros gregos até a proposição da ideia do elétron como uma partícula material dotada de propriedades físicas como massa e carga elétrica, enfatizando o caráter material da

---

<sup>2</sup> Para uma melhor compreensão da querela entre internalismo e externalismo recomendamos consultar (ROSSI, 1989), (KOYRÉ, 2006) e (ZILSEL, 2018). Sendo Koyré um elemento icônico do internalismo, Zilsel um autor que propôs reflexões próximas do externalismo, e Rossi um analista que problematiza historicamente as tensões entre essas duas abordagens em História da Ciência. Recomendamos também (CONDE, 2013).

teoria da eletricidade. Partindo do conceito de mediação, sugerimos que a interação social dos sujeitos de então com esses instrumentos produziram mudanças qualitativas no psiquismo desses sujeitos, o que por sua vez se reflete no refinamento teórico do saber e em melhorias técnicas nos instrumentos, o que acaba novamente por produzir novas mudanças qualitativas no psiquismo, em um loop dialético, como uma característica importante do movimento de constituição dessa teoria. Dessa feita, problematizamos o perpendicular, o versório, a máquina eletrostática, a garrafa de Leyden e a pilha voltaica, como instrumentos importantes para a elaboração de saberes acerca dos processos de eletrização por atrito, por contato por indução, para a incorporação dos fenômenos atmosféricos à teoria e para a elaboração da lei do inverso do quadrado da distância no contexto da eletricidade e do magnetismo.

No capítulo quatro delineamos os procedimentos que culminaram com a elaboração do texto histórico acima referido, com a sua posterior transposição didática e problematização em sala de aula. Iniciamos apresentando as características da pesquisa, as especificidades do espaço sócio histórico no qual a escola está inserida, as características dos sujeitos participantes e da instituição escolar onde a estratégia didática foi implementada. Os dados foram produzidos principalmente a partir de questionamentos abertos, divididos em cinco etapas, sendo que a primeira delas foi uma atividade livre inicial, depois quatro atividades sendo cada uma dela para cada texto implementado, depois de efetivada a transposição didática. Além dessas atividades ainda os dados foram produzidos a partir de um roteiro de apreciação crítica de um material audiovisual do gênero documentário, que trata da teoria da eletricidade. Todas essas atividades foram propostas para expandir a zona de desenvolvimento potencial dos participantes, depois disso, como clímax da estratégia didática, os participantes apresentaram atividades experimentais e produziram uma síntese integradora.

No capítulo seguinte problematizamos os dados produzidos a partir de algumas categorias, indicadores e procedimentos previamente estabelecidos, onde o centro da discussão é o par significados/sentidos elaborado pelos alunos ao longo de suas respostas às atividades propostas.

Finalizamos o trabalho apontando para a dificuldade de se trabalhar com a estratégia didática, discutimos o caráter inacabado e transitório dos dados produzidos, apontamos para a necessidade de desenvolvimento de futuros trabalhos com orientações e pressupostos claros e mais ou menos precisos no que diz respeito à História, a Filosofia e à Ciência. Mais importante que o prosseguimento das pesquisas consoantes com o presente trabalho é a necessidade emergente de mudanças no contexto de salas de aulas, como um trabalho do qual o professor não se esquivar ou recusar, mesmo que seja um trabalho lento, é preciso sempre começar.

## 2 PRESSUSPOSTOS HISTÓRICOS, FILOSÓFICOS E EDUCACIONAIS

---

*Qual o valor de todo o nosso patrimônio cultural, se a experiência não o vincula a nós? A horrível mixórdia de estilos e concepções de mundo do século passado, mostrou-nos com tanta clareza aonde esses valores culturais podem nos conduzir, quando a experiência nos é subtraída, hipócrita ou sorrateiramente, que é hoje em dia uma prova de honradez confessar nossa pobreza. Sim, é preferível confessar que essa pobreza da experiência não é mais privada, mas de toda a humanidade. Surge assim uma nova barbárie.* (BENJAMIN, 1987, p. 115)

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os pressupostos teóricos e metodológicos referentes a história, a educação e a filosofia tanto norteadores das problematizações contidas no presente trabalho quanto essenciais para o desenvolvimento dos capítulos seguintes.

Como ponto de partida aceitamos o pressuposto que o modo como são confeccionadas as narrativas históricas são fortemente influenciadas pela concepção de tempo histórico adotada na feitura destas. Assim observamos que as narrativas históricas que pretendem dar conta da Física em sua maioria adotam um tempo histórico identificado como tempo cronológico, de escoamento uniforme, unidirecional e vazio (ARIÈS, 1989) (ARÓSTEGUI, 2006) (BARROS, 2005) (BENJAMIN, 1987) (CATROGA, 2009).

Como ferramental teórico em História da Física propomos o tempo histórico estrutural pautados nas durações longa, média e curta, sendo que o movimento do saber em física é caracterizado a partir da média e da longa duração<sup>3</sup>. Com isso aceitamos que tanto as mudanças como as permanências, tanto na história material da ciência quanto na história das ideias, são passíveis de historicização.

### 2.1 Linguagem e o Ensino de Física

Com a linguagem somos capazes de imprimir sentidos (transitividade da vida) e também registrar o permanente (o que permanece no mundo como fato humano). Permite

---

<sup>3</sup> Para uma melhor compreensão acerca da problematização entre o tempo histórico e o tempo cronológico recomendamos o Capítulo 04 de (A pesquisa histórica: teoria e método, 2006). Para uma compreensão do tempo estrutural recomendamos (História e Ciências Sociais, 1990), (La dinámica del capitalismo, 1993), (Fernand Braudel: uma biografia, 1999) (Escola dos Annales: a inovação em história, 2000), (O Mediterrâneo: o espaço e a história, 1987) e (Braudel: Historical Time and the Horror of Discontinuity, 2004).

o trânsito entre os extremos da realidade humana (REYZÁBAL, 1999) (SOUZA, 1994). Portanto, a linguagem, seja por sua centralidade no ato educativo, seja por sua característica constituidora do sujeito e da cultura merece ser objeto de problematização na perspectiva de um Ensino de Física que pretenda superar as contradições da modernidade e sua proposta de Formação Cultural<sup>4</sup>.

O modo como a humanidade aprendeu a se orientar no universo ajuda a entender como ela compreende a si mesma (ELIAS, 1998). Assim, o saber que veio a constituir a Física como disciplina apresenta também traços do processo civilizador ocidental, podendo ser concebido como um símbolo social multifuncional que serve entre outras coisas como instrumento de orientação da constituição da sensibilidade e do intelecto humano (CAJORI, 1962). Isso porque vivemos num mundo simbólico criado e significado por nós, e no que se refere à natureza, criamos símbolos para fazer tal referência e esperamos que haja uma correspondência entre ela e esses símbolos.

Ponderando a ideia processo civilizador e a respectiva concepção estruturalista da sociologia, admitimos que a Física resulta de um longo processo de aprendizagem onde todas as pesquisas atuais, as pesquisas de vanguarda em Física, são construídas a partir de todo um patrimônio de saber já adquirido. O conhecimento físico é um processo lento de longa duração onde sua carga simbólica permite a abstração e a memória ao passo que também patrocina a organização e a estratificação social<sup>5</sup>.

Assim, a possibilidade do conhecimento físico implica em um elevado nível de síntese no qual se inserem muitos problemas epistemológicos e históricos sendo que um deles é de ordem linguística a respeito da representação das abstrações humanas acerca da natureza.

---

<sup>4</sup> Para uma compreensão do campo semântico no qual gravita essa discussão recomendamos consultar (Experiência e Formação em Walter Benjamin, 2007), onde os conceitos de Bildung, Erfahrung e Aufklärung são problematizados em um jogo dialético relativamente profundo e consoante com o uso desses conceitos no presente trabalho. Alguns livros também podem auxiliar na compreensão, tais como (História Social da Criança e da Família. , 1981), (Magia e técnica, arte e política: Ensaio sobre literatura e história da cultura, 1987), (O que é educação, 2007), (Vigiar e punir: o nascimento da prisão, 1987), (Walter Benjamin: Os cacos da história, 1993), (Walter Benjamin: O marxismo da melancolia, 1999)

<sup>5</sup> É somente no nível do homem que os seres pertencentes à natureza adquirem o poder de síntese que lhes é permitido representar, através de seus símbolos sociais tanto o devir do universo quanto o movimento aparente do Sol ao redor da Terra. Uma longa evolução social é necessária para que os homens aprendam a desenvolver símbolos relativos a representações complexas como essas, símbolos sem os quais eles não poderiam comunicar-se a proposito dessas representações, nem tampouco guiar-se por elas (ELIAS, 1998, p. 142-143).



Na física os instrumentos de medida fornecem informações compreensíveis somente quando aceitamos a coerção das convenções acerca dos valores usados como padrões e das relações entre o instrumento e a grandeza a ser medida (WHITROW, 1993) (ELIAS, 1998). Dessa feita no Ensino de Física na Educação Básica os valores das grandezas possuem uma objetividade inquestionável sendo um fim operacional na assimilação e na internalização de um conjunto de equações matemáticas que na expectativa da escolarização, ao ser adequadamente manipulado pela grande quantidade de repetição e pela observação de modelos exemplos manifestam o aprendizado do aluno que obteve ao menos instantaneamente sucesso na execução da tarefa operacional que lhe fora solicitada. Então o significativo é internalizado como o objeto a ser apreendido ou quando não a linguagem matemática deixa de ter seu caráter instrumental de expressar as ideias sobre a natureza e ganha matizes de coercitividade externa e destruidora da capacidade criativa do aluno.

É a partir do desenvolvimento da linguagem que somos capazes de memorizar, de exercermos a nossa humanidade (SOUZA, 1994). Esse processo de humanização pela linguagem e pela memória, em uma longa duração, possibilitou ao homem construir representações de si e do universo, cada vez mais elaboradas e mais distantes de seu devir imediato. Além disso, a especialização da linguagem torna possível o surgimento de grupos sociais fechados principalmente pelo uso de uma linguagem inacessível a quem não pertence a esse grupo, um exemplo disso é o linguajar jurídico hermético e as equações matemáticas usadas pelos físicos e matemáticos.

Não é difícil encontrar círculos de intelectuais nos quais as pessoas se comunicam por meio de uma linguagem repleta de abstrações ritualizadas de alto nível que nenhum leigo tem condições de compreender. No interior desses círculos, o emprego dessas abstrações ritualizadas é cercado por um halo de associações que nunca vão nem precisam ser explicitadas, pois o que elas implicam é perfeitamente conhecido pelos iniciados. Os não iniciados, que creem que os questionamentos desses eleitos deveriam levar a resultados dotados de significação e valor cognitivo para todos, ficam perplexos, muitas vezes ao serem bombardeados com essas abstrações. Não estando familiarizados com essas associações implícitas que acompanham o emprego dessas abstrações, em vão eles procuram relacioná-las com símbolos que representam alguma coisa tangível com uma síntese conceitual em que figurem detalhes observáveis. Quando não se podem identificar conexões inteligíveis com estes últimos, os símbolos próprios das sínteses de alto nível nada mais são, muitas vezes do que palavras. (ELIAS, 1998, p. 19)

Assim no mundo contemporâneo diversos grupos sociais exercem um poder pelo manuseio hermético da linguagem, onde o controle do discurso possibilitado por ela só pode ser partilhado por iniciados que cumprem certos ritos de passagem, de modo que haja um controle social do conhecimento, que não deixa de ser uma forma de controle social mais amplo. Nesse contexto, o hermetismo linguístico cria *lócus* de poderes pelo manuseio hábil de determinados símbolos por um grupo social bastante restrito. O conhecimento físico não deixa de ter esse caráter, pelo modo histórico de sua produção e de difusão social.

Ponderando as características herméticas da linguagem matemática usada como ferramenta privilegiada e empobrecida da expressão em Física, fundada no Operacionalismo<sup>6</sup> positivista, as tensões vivenciadas no ensino formal de Física nas instituições responsáveis pela escolarização acabam por explicitar de modo mais cabal as contradições entre a modernidade e o seu projeto de Formação Cultural (**Bildung**)<sup>7</sup>. O distanciamento entre professor de Física e aluno não é só espacial, é linguístico, social, cultural e exponencialmente agravado pela tensão entre a tradição do saber e a imposição do desejo de novidade alimentado pela modernidade. No cotidiano escolar ocorre a interação de sujeitos não como coletividade, mas como público e não se favorece a possibilidade de experiências autênticas, antes o contrário, ocorre uma degradação do cotidiano escolar e a anulação do sentido da prática escolar.

No contexto das dificuldades de aparelhamento social apresentadas pelas escolas públicas, ocorre uma tensão devido a interação dos jovens com diversos aparatos tecnológicos, e com o professor, que reproduz os rituais sacralizados pelos métodos convencionais de partilhas do conhecimento físico. O professor, possuidor de um conhecimento de elevado poder sintético diante de uma plateia de alunos não iniciados no pensamento científico, parece usar outro idioma que não o dos alunos. Assim, há uma inviabilização da finalidade da aula, mesmo dentro do projeto de Formação Cultural

---

<sup>6</sup> Para uma compreensão do Operacionalismo recomendamos consultar (Epistemologia: curso de atualização, 1980), (La Filosofia de la Física, 1982), (Teoria e Realidade, 1974) e (Ciência e desenvolvimento, 1980). Especialmente em La Filosofia da Física, no capítulo 01, o autor problematiza o operacionalismo como *O credo do físico inocente*.

<sup>7</sup> A **Bildung**, autoformação e aperfeiçoamento individual, representa o modo alemão de assimilação cultural da herança individualista ocidental, como uma possibilidade de crítica reflexiva. O auto cultivo de si é responsável pelo ideal de liberdade política: o cultivo da mente é o que faz o homem livre, sendo a fonte da real liberdade. A tradição germânica assimila esse raciocínio ao extremo: o nível de emancipação individual subordina todos os outros, as convicções são privilegiadas em detrimento da política.

moderno, uma outra contradição entre Formação Cultural e escolarização é explicitada a partir da linguagem. “O modelo linguístico comum admite variações individuais, até certo ponto. Mas quando essa individualização vai longe demais a língua perde sua função de meio de comunicação dentro do grupo” (ELIAS, 1998).

Essa postura operacionalista é marcante nas graduações e pós-graduações onde a partilha do saber transcorre de modo horizontal entre pares que de uma forma ou de outra já dominam pelo menos no nível elementar alguns conceitos a partir dos quais o saber físico é possível. Assim não é raro os professores em suas aulas fazerem referência direta aos significantes deixando implícito que na verdade a referência é feita ao significado e isso ocorre de modo tão natural que não causa nenhum espanto, e essa naturalidade não é contestada por que talvez ensinar desse modo já uma estrutura de longa duração, tão velho como próprio saber físico.

A grande maioria dos físicos ao operarem com conceitos e categorias físicas, assim o fazem de modo pragmático, operacionalista, tratando-os como uma supra realidade objetiva e não como uma elaboração apreendida lentamente e com grande esforço imaginativo e alto poder de abstração. A ideia da objetividade dos conceitos físicos está tão aderida às pesquisas que não se questiona sobre a sua dimensão histórica e os termos correlatos. Dessa feita a coerção institucional da linguagem física e sua internalização, dificulta a percepção de seu caráter externo e instrumental, mas que é evidenciado a partir do instante em que se pensa sobre as possibilidades do conhecimento físico e das suas limitações. Essa coerção impossibilita a emergência da dimensão estética desse saber, vez que não fomenta a elaboração de sentidos e não é eficaz na partilha de significados.

O Ensino de Física fundado em significantes perpetua o fracasso das tentativas de mudança da ordem instituída e fomenta a dominação social. Não podemos fugir dos fracassos da educação e da Escola, que impedem análises consistentes da realidade e geram passividade e comodidade, numa ilusão do esforço mínimo.

Na fronteira litigiosa entre a linguagem docente e a linguagem discente; o saber, mobilizado de modo quase automático pelo professor, é expresso como óbvia certeza absoluta e de fácil apreensão, inviabilizando os significados. Isso porque a significação de uma ideia carrega consigo o estigma do nível de síntese atingido pelo grupo que a significa. Assim o ensino deve ser uma partilha de significados, uma apropriação ativa do saber, uma internalização da síntese a partir de experiências individuais e coletivas, sintetizadas de modo dialético de modo a possibilitar a criação de sentidos.

Quando os símbolos atingem elevado grau de adequação a realidade é muito difícil ao menos num primeiro olhar, distingui-los dessa mesma realidade, e as generalizações de caráter impessoal representam um elevado grau de distanciamento em relação ao sujeito conhecedor, sem calor afetivo e sem flexibilidade (ELIAS, 1998). É nesse ponto que é de fácil percepção a grande diferença entre a língua materna e a linguagem matemática, se esta possui o privilégio da objetividade, da clareza e da universalidade da representação, da abstração, ela perde sua finalidade primordial de comunicar pelo menos para o público não alfabetizado nessa modalidade linguística por que não toma partido na realidade cotidiana desse público, assim os significantes matemáticos não são extravasados para os seus significados e a ação na direção do conhecimento não ocorre devido à ausência de sentido que justifique a empreitada.

Por outro lado, a língua materna está fortemente adequada à realidade e antes de ingressar na escola o aluno já domina os aspectos essenciais da linguagem que tornam possível a abstração, a convivência social e a expressão pelo menos em caráter elementar do sujeito que a domina, assim a língua materna apresenta um nível sintético culturalmente herdado de modo espontâneo e adequado a realidade<sup>8</sup>. É no nível dessa linguagem que o Ensino de Física precisa tatear ações que garantam a eficácia da partilha social de significados que possibilitem a elaborações de sentidos, rumo a uma valorização da dimensão estética do conhecimento

O exercício pleno de si e do ideal de cidadania no estado democrático de direito, tomando como norte a concepção de **Bildung**, só é possível a partir da aquisição plena da linguagem. Também em Física, a plenitude da compreensão racionalista desse saber é impossibilitada pelo não domínio do ferramental linguístico disponível para a expressão. Entretanto desejamos a compreensão não somente do significado dos símbolos e conceitos utilizados em física, mas do movimento da constituição da ideia que fornece significado ao símbolo<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> A diferenciação entre essas linguagens talvez seja um modo de condicionar a partilha social do saber., artificializando uma cisão entre ciências humanas e ciências naturais, onde uma é tida incompreensível, árido e nada criativa, enquanto a outra é deglutível por usar um ferramental contido na realidade imediata de quem a problematiza. Essa distinção é artificial e socialmente forjada vez que ambas possuem as mesmas convenções, a diferença é que uma é socialmente familiar ao passo que a outra possui caráter externo e coercitivo.

<sup>9</sup> Compreender um significado não é ter uma cópia exata do que se presta à compreensão e sim adquirir habilidade de saber como manejar as consequências em ação do seu uso em circunstâncias específicas. (SILVA, 2010)

Tateando essa pretensão e compreendendo que na maioria dos casos é no Ensino Médio que ocorre o primeiro, e talvez último, contato do estudante com pensamento físico na condição de estudo formal, cabendo então ao professor proporcionar experiências formativas positivas, ocasião na qual não é possível exigir do estudante a manipulação da simbologia matemática do mesmo modo que é feito no Ensino Superior. O Ensino de Física nessa modalidade não precisa ser encarada como uma finalidade em si mesmo, empobrecido pelo desejo de compreensão dos conceitos considerados importantes, ou manifestar uma finalidade instrumental de compreender o funcionamento da tecnologia ou o funcionamento do mundo natural.

Antes os temas abordados em Física na Educação Básica precisam dar conta da totalidade da ação humana que os elaboraram. Assim, os temas de Física podem se configurar como gatilhos para reflexões acerca da própria possibilidade do conhecimento acerca da natureza; das dificuldades enfrentadas na elaboração do saber, do processo de alienação vivenciando entre a produção e o uso social do conhecimento em Física. Mais que instrumentalizar o estudante para que este seja capaz de elaborar explicações para a realidade que o cerca, é fornecer a este não só o ferramental que o habilite a questionar essa realidade, é compartilhar a centelha da dúvida, do pensamento inquieto que tudo questiona, pois se o estudante desenvolver o hábito de questionar o mundo natural que é pretensamente uma realidade imanente, tornar-se-á radicalmente crítico de sua própria condição humana como ser pensante e sensível<sup>10</sup>.

Desejamos um Ensino de Física onde um significante seja internalizado não como símbolo vazio, mas como um elemento icônico com significado pleno e passível de constituir uma gama infinita de sentido, negando o Operacionalismo característico dessa prática, onde há uma exposição acrítica do significante como um fim em si mesmo, quando a intenção da prática educativa em Física seria extravasar o símbolo no sentido de proporcionar uma abstração, afirmar o caráter criativo do humano.

O Ensino de Física no Ensino Médio deve antes de tudo equipar o estudante com as ferramentas necessárias para que este consiga questionar a realidade<sup>11</sup>, esse

---

<sup>10</sup> Todo processo de compreensão de um pensamento é uma elaboração de uma ideia nova sintética, uma mediação entre a ideia questionadora e a ideia questionada. Como elemento facilitador dessa mediação o professor ao fazer uso das diversas linguagens no contexto da sala de aula, deve ter cuidado com discurso que veicula, pois a atividade docente é carregada de sensibilidade e devemos ponderar qual é a sensibilidade que desejamos que fique explícita.

<sup>11</sup> [...] a educação enquanto comunicação, deveria ensinar os estudantes a perguntar (o que ressalta também o valor de se perguntarem), pois nem sempre é possível a experiência direta. Daí a

empreendimento é custoso e pode durar um intervalo de tempo, para ser minimamente eficaz, superior ao tempo das três séries do Ensino Médio e depende de uma vasta gama de fatores tanto de cunho social quanto intra psicológicos;

O reconhecimento dessa condição é uma das condições para a reconstrução da experiência no mundo moderno.

## 2.2 Ensino de Física entre a Formação Cultural (*Bildung*) e a Experiência (*Erfahrung*)

É sabido que as relações entre a episteme moderna (*Aufklärung*), o seu projeto de formação cultural (*Bildung*) e a vontade de poder do homem moderno são marcadas por diversas contradições, que desembocam no processo de escolarização<sup>12</sup> e embrutecimento como prática educativa eficaz no mundo contemporâneo, podemos nos questionar como o Ensino de Física ao longo do seu processo de constituição se relaciona com essas contradições<sup>13</sup>. Qual o papel do Ensino de Física na reverberação dessas contradições ou que esforços podem ser mobilizados para superar tais contradições a partir da compreensão dos mecanismos epistemológicos que engendram o conhecimento em Física.

O Ensino de Física pode ser um *locus* privilegiado de possibilidades teóricas e práticas de elaboração de saberes no sentido de superar essas contradições uma vez que a Física diversas vezes foi ou ainda é apresentada como um modelo de ciência padrão a ser seguido pelas demais ciências, ou ainda pelo fato de que a sua constituição histórica como saber se confunde com o próprio processo de constituição dessa episteme moderna.

Em Ensino de Física diversas tensões entre *Bildung* e modernidade podem ser antevistas, sendo que uma delas diz respeito ao desafio de realizar partilhas de saberes elaborados num tempo que se perde na duração, sendo por isso socialmente desvalorizados em contraposição a um discurso que tenta associar esse saber à tecnologia,

---

importância essencial da interação verbal, já que o contrário seria empobrecer demasiadamente o indivíduo. O milagre dos discursos consiste em que podem nos fazer chegar ao ouvido aquilo que é diretamente inacessível, inalcançável e mesmo inimaginável (REYZÁBAL, 1999, p. 15).

<sup>12</sup> Para uma diferenciação entre educação e escolarização ver (BRANDÃO, 2007).

<sup>13</sup> [...] antes mesmo de atingir o ponto de se confrontar com os desafios específicos envolvidos na aprendizagem deste ou daquele raciocínio, operação ou conceito, a dificuldade fundamental que se impõe ao estudante de ciências nos dias atuais liga-se ao fato de lhes escaparem os valores e atitudes de referência necessários para saber se orientar no contexto de uma cultura de natureza oposta àquela com a qual se acha comprometido no dia a dia. (SILVA, 2010, p. 17)

e esta por sua vez, compreendida no interior das relações de produção e de trocas capitais, o que favorece a degradação do cotidiano dos sujeitos escolares e a falência da experiência educativa.

O Ensino de Física a partir de uma concepção que possibilite a valorização social da tecnologia toma um efeito por uma causa e atende aos interesses do capital, além de desconsiderar as diversas outras dimensões da Física como saber inserido em um contexto cultural amplo, apresentando um saber lacunar e estreito. Como já vimos, essa pauperização do saber não é uma atitude pontual e sem reminiscências ou projeções no futuro, antes se origina de uma postura filosófica e de uma concepção de educação, que mesmo que seja inconsciente no cotidiano de alguns professores de Física, possui elementos regulatórios internos e grande eficácia prática associados tanto à episteme moderna (**Aufklärung**) quanto a seu projeto de Formação Cultural (**Bildung**), mesmo que em seu caráter contraditório<sup>14</sup>.

De modo institucionalizado e sistemático o Ensino de Ciências no Brasil começa o seu processo de constituição por volta de 1930, sendo que a criação da Universidade de São Paulo em 1934 foi um marco desse processo, fomentado pela ação estatal e trazendo consigo todas as contradições entre saber e poder político que marcaram a primeira metade do século XX, no contexto das duas grandes guerras. Além disso o Ensino de Ciências no Brasil somente numa escala bastante limitada foi encarada como um projeto de formação de quadros técnicos altamente especializados, ao passo que a formação científica generalista tinha como o principal propósito preparo para os seletivos para ingressar na universidade. (ZANETIC, 1989).

Tanto na base da pirâmide quanto no topo da formação em Ciências, a Física foi considerado meio e não um fim. Era preciso formar quadros técnicos especializados para dominar a tecnologia de produção de dispositivos nucleares com finalidades militares, sendo que a ação estatal de patrocínio da formação dos primeiros professores de Física do Brasil aliada à colaboração de físicos nucleares europeus, principalmente os físicos oriundos da Itália marca esse primeiro momento. Essa foi a saída encontrada pelo Brasil

---

<sup>14</sup> Devido essa característica da tecnologia, muitos adeptos do operacionalismo, instrumentalismo e pragmatismo se identificam com ela, de modo a confundir ciência e tecnologia. “O tecnólogo é filosoficamente um oportunista” (BUNGE, 1980, p. 195)

“[...] Enquanto para o cientista o conhecimento é uma meta última que não requer uma justificação, para o tecnólogo é uma finalidade intermediária, algo a obter, para ser usado como meio para alcançar uma meta prática.” (BUNGE, 1980, p. 193)

diante de seu “atraso” diante dos demais países envolvidos nas principais discussões acerca da Física Quântica e da Física Nuclear.

Assim, a gênese da institucionalização da Física no Brasil possui uma face excludente, onde alguns poucos eleitos pelo poder estatal poderiam ter acesso a esse conhecimento especializado. Uma significativa soma de recursos estatais foi concentrada na formação de poucos especialistas ao passo que a Formação Cultural da população em idade escolar ainda até o final da década de 70 do século passado se limitava ao Ensino Fundamental, onde nada ou pouca coisa de Física era trabalhada<sup>15</sup>. Os poucos estudantes, em geral de classe média, que tinham acesso ao Ensino Médio, estudavam a Física como um instrumento para galgar uma carreira acadêmica nas mais diversas áreas (ZANETIC, 1989).

Outra contradição a ser superada pelo Ensino de Física quando de sua institucionalização é a que diz respeito ao desprezo do trabalho manual em detrimento do trabalho intelectual. Em uma sociedade marcada pelo escravismo, pela política de importação de mão de obra (principalmente nas primeiras décadas do século passado), o saber não tinha ou ainda não tem muitas relações com o fazer. Essa discrepância é uma das principais dificuldades da institucionalização da Física no Brasil, reverberando de modo marcante no desenvolvimento da Física Experimental tanto no nível universitário como na Educação Básica<sup>16</sup>.

Essas dificuldades enfrentadas quando da institucionalização da Física no Brasil de uma forma ou de outra ainda caracterizam o modo como esse saber é partilhado ainda nos dias de hoje. Além disso, temos que aceitar que somente no final do século passado é que passamos a contar com, mesmo bastante reduzida, uma comunidade científica a que se refere a Física. Tal fato passou a permitir a configuração de um caminho nacional original no que se refere às atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão em Física. Em outras palavras, até pouco tempo atrás, o estado brasileiro importou métodos e técnicas de ensino em Física incoerentes com a sua realidade nacional, o que, aliado às contradições da

---

<sup>15</sup> Em seu trabalho de 1989 Zanetic já demonstra sua preocupação com a Formação Cultural da maioria da população brasileira fornecida pela escola pública, inclusive a modalidade de Educação de Jovens e Adulto no período noturno

<sup>16</sup> Embora a atribuição do termo "ciência experimental" tenha uma carga de significação positivista, não se pode deixar de criticar a inexistência do ato de fazer e criar no ensino de física. A atividade experimental pode tanto esclarecer os elementos teóricos relacionados a física quanto possibilitar a compreensão de experiências ligadas à vida cotidiana (ZANETIC, 1989).



modernidade, produziu uma distância ainda maior entre o conhecimento e o sujeito escolar.

Como problemas estruturais no Ensino de Física podemos citar a pauperização da carreira docente devido aos baixos salários e elevada jornada de trabalho, o que favorece a não permanência de intelectuais na carreira (ZANETIC, 1989), sem contar que expõe a contradição entre o saber e o capital, a partir da ótica das contradições entre modernidade e Formação Cultural. De uma forma escamoteada a orientação para o trabalho, em detrimento do exercício da cidadania, explicitada na exigência social de aprovação em testes de vestibulares, onde a Física passa a se configurar somente como um mero instrumento para tal finalidade; não deixa de ser também uma manifestação das contradições aqui apontadas.

Ao pensar o Ensino Médio como um processo de quarentena e treinamento para a prestação de exames admissionais em universidades, provoca-se um total esvaziamento do sentido do Ensino Médio (ZANETIC, 1989), empobrecendo sobremaneira as experiências dos adolescentes na escola e estreitando as possibilidades de constituição das subjetividades dos estudantes.

Assim, muitas das vezes, na Educação Básica e também no Ensino Superior a Física é apresentada a partir de uma concepção filosófica operacionalista rasteira limitada a superficiais conhecimentos da Física Clássica, com um grande volume de conteúdo, num amontoado a-histórico que pretende condensar toda a experiência humana desde os primórdios até o século XIX<sup>17</sup>. De um modo mais direto, embora no presente tenhamos diversas propostas de inovação, ainda hoje, o Ensino de Física se restringe basicamente à apresentação de conceitos e operações, seguidos de uma lista de exemplos resolvidos e exercícios propostos, sendo que a avaliação dessa aprendizagem igualmente solicita a resolução de problemas que representam configurações de situações nas quais seja necessário a aplicação das fórmulas que sintetizam os temas abordados. Esse treino no algoritmo da Física, destreza necessária para o sucesso nas avaliações, ocorre em um vazio intelectual e vivencial (ZANETIC, 1989), favorecendo a falência da experiência no contexto da escolarização.

---

<sup>17</sup> [...] o que passa por conhecimento em física na escola de 2º grau nada mais é que uma simplificação grosseira da física básica clássica das disciplinas introdutórias dos cursos universitários. É um ensino enciclopédico pouco profundo, que deixa pouco espaço para a criatividade, livresco por excelência, a-histórico e [...] limitado, pois, fica-se apenas com a visão oferecida pela física desenvolvida entre os séculos XVII e XIX. (ZANETIC: 1989 p 30)

Essa falência também é patrocinada pela não problematização dos conhecimentos físicos a partir de suas riquezas e complexidades epistemológicas, apresentando então a conceitos e teorias físicas como verdades sem passado<sup>18</sup>, obtidos por meio de pensamentos indutivos ou dedutivos, a partir de uma postura contemplativa adotada por poucos sujeitos iluminados de inteligências e genialidades transcendentais (ZANETIC, 1989). Essa postura epistemológica nega aos discentes a possibilidade de pensar a Física como uma produção humana que ocorre em contextos sócio históricos específicos, pondo um véu que encobre e ao passo que aumenta a distância, entre sujeito e conhecimento, inviabilizando toda e qualquer ação na direção do saber<sup>19</sup>.

Além dos problemas levantados acima, todos eles consoantes com o projeto de Formação Cultural mas não concretizados devido as contradições entre tal projeto e as características da modernidade, temos que um Ensino de Física orientado pelo o cientificismo positivista pode favorecer: a negação da polissemia de sentidos, o que é uma característica do universo humano, por apresentar um caráter monovalente tanto do discurso verbal quanto da leitura da realidade que se expressa na linguagem das coisas. Isto é, a partir de um Ensino de Física consoante com a episteme moderna, temo um empobrecimento da expressão, a negação das contradições sociais e apresentação de um saber unívoco capaz de afirmar as desigualdades sociais como uma característica essencial do mundo contemporâneo<sup>20</sup>.

De um modo geral o ato educativo tem o propósito de afetar o ser de modo qualitativo, modificando as suas representações de mundo, as mentalidades, os preconceitos, as crenças, os medos, as inquietações, as atitudes, os valores, os vícios, os hábitos, garantindo que os saberes sejam transmitidos de geração a geração através das partilhas sociais imediatas e espontâneas. É contra essa aparelhagem cultural complexa que o Ensino de Física lida no cotidiano isso deve ser ponderado quando das práticas

---

<sup>18</sup> A física é apresentada como um ramo do conhecimento neutro, apolítico, eternamente dado, ontologicamente verdadeiro e desligado do cotidiano. A pobreza das possibilidades dos exemplos resolvidos em sala, a pretensa atemporalidade e a não influência do contexto social levam a uma alienação da física em relação à vida social (ZANETIC, 1989).

<sup>19</sup> [...] a física ensinada em nossas escolas é essencialmente matemático-operacional, metodologicamente pobre, sem experimentos, sem história interna ou externa e desligada da vivência dos alunos e da prática dos cientistas. (ZANETIC, 1989, p. 113)

<sup>20</sup> A desvinculação da ciência em relação ao universo da cultura é um artifício do modo dominante como ocorre a apropriação e a manipulação do saber e por consequência de como ele é selecionado e veiculado. Tal fato produz um distanciamento entre o fazer e o saber, o trabalho manual do trabalho intelectual (ZANETIC, 1989).

escolares, de modo a possibilitar desvelar os significados e os sentidos do mundo. O conhecimento físico exige interpretação e deve defender sempre uma relação positiva do ser humano com a natureza e essa aprendizagem possui dimensões estéticas e coletivas.

Os assuntos ou temas problematizados no cotidiano escolar na disciplina de Física não devem ser finalistas, estanques em si mesmo, ou na sua relação com a tecnologia. Antes pode sempre ser um instrumento, um gatilho para questionamentos verticalmente profundos acerca da própria possibilidade do conhecimento humano acerca da natureza. Para isso, precisa sempre extrapolar o conteúdo, não ter este como o pano de fundo dos objetivos, precisa fornecer um panorama do processo de constituição das teorias centrais que compõem a Física discutindo os seus aspectos históricos e filosóficos (BELTRAN, 2014).

Uma possibilidade de superação da crise do distanciamento entre educação e escolarização no conteúdo do Ensino de Física pode ser pensada a partir de ciência e sobre ciências, como elementos integrantes do ser no seu universo social e cultural.

A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas. (MATTHEWS, 1995, p. 165)

Não bastasse essa possibilidade de problematizar a ausência de significação ou de elaboração de sentidos por parte dos estudantes, pôr em questão os processos de constituição das teorias físicas é de certo modo questionar diretamente a episteme moderna e seu projeto de Formação Cultural, pondo a nu os processos de elaboração desses saberes e as formas como ocorrem as suas partilhas sociais, fomentando o desejo de elaboração de uma outra episteme.

O Ensino de Física pautado na relação da História e Filosofia com diversas outras linguagens que não só a linguagem matemática formal pode proporcionar experiências formativas capazes de superar as contradições da modernidade aqui apontadas e que

pesam sobre as práticas escolares, favorecendo a compreensão da Física como um elemento integrante e essencial da cultura contemporânea<sup>21</sup>. Um saber elaborado a partir da criatividade humana na interação com o seu universo material e simbólico e por isso, o lugar privilegiado da imaginação.

Tanto a História da Ciência, como o Ensino da própria Ciência, pelo seu objeto de estudo possui um corpo de saberes intrínsecos (MATTHEWS, 1995) e é a partir desses saberes que são estabelecidas as relações transdisciplinares, o que torna possível apreender o movimento de constituição de um algo que se apresenta no presente como saber, permitindo compreender a dimensão intrínseca do próprio saber e a pluralidade das possibilidades de sua elaboração<sup>22</sup>.

A física é um produto da vida social e como tal leva a marca da cultura da época, da qual é parte integrante, influenciando e sendo influenciada por diversos outros conhecimentos (ZANETIC, 1989). O valor da ciência precisa ser alargado de modo a fazer parte da cosmovisão do sujeito e de modo a ser incorporada como instrumento de atuação política, de fomento da identidade social e individual. A Física pode fornecer elementos teóricos e práticos capazes de fomentar alguns questionamentos acerca da organização da sociedade contemporânea<sup>23</sup>, pode nos ajudar a pensar a condição humana na relação poder-saber-tecnologia. Pode evidenciar também como o conhecimento científico se relaciona com os diversos outros elementos da cultura<sup>24</sup>. O seu estudo sob o viés epistemológico pode patrocinar a recuperação da unidade da cultura (MATTHEWS, 1995) perdida somente a três séculos (BUNGE, 1980).

Uma possibilidade de efetivação de um Ensino de Física com essas características pode ser vislumbrada, como já vimos, a partir da valorização de diversas linguagens que não só a linguagem matemática e explicitando o caráter estético do conhecimento

---

<sup>21</sup> [...] a maioria das pessoas consome ciência enquanto cultura, mas ao mesmo tempo, está alienada de sua presença real no cotidiano. E a forma e o conteúdo da ciência processada na escola reforçam essa condição de distanciamento entre a física escolar e a vida das pessoas, da ausência organizada da ciência na cultura popular. (ZANETIC, 1989, p. 96)

<sup>22</sup> Nem toda a racionalidade é regulamentada metodicamente. Não existe métodos para inventar as coisas ou ideias. A criação original não possui métodos. Também não há métodos para inventar métodos. (BUNGE, 1980)

<sup>23</sup> “[...] quem quiser adquirir uma ideia adequada da sociedade moderna precisa estudar o mecanismo da produção científica.” (BUNGE, 1980, p. 1)

<sup>24</sup> O conhecimento possui certas características que são veladas ou não explícitas a um olhar tecnicamente municiado e o desvelamento desse saber confere dignidade à condição humana. (SILVA, 2010, p. 11)

científico, onde as práticas em sala de aula sejam encaradas como momentos de apreciação do saber. A apreciação<sup>25</sup> é ato criativo, uma nova maneira de dar sentido à experiência<sup>26</sup>, fusão de experiências passadas, presentes e futuras (antecipação e preparação), gerando um ciclo de transformações de sentidos ininterruptas, avançando para a consumação efetivada sempre no presente<sup>27</sup> e inserindo o sujeito em um novo ciclo (SILVA, 2010).

Assim, defendemos que o

[...] objetivo básico do ensino de física (ou de qualquer outra das disciplinas, científicas ou não, que compõem o currículo escolar): a transformação da física num elemento cultural vivo, inquieto e inquietante que, se necessita da técnica experimental e matemática para sua construção e difusão, trabalha também com o imaginário. Aqui, ciência e arte se aproximam. As fronteiras entre as "duas culturas", humanista e científica, tornam-se menos nítidas. Neste ponto complementa-se e rompe-se com o senso comum. Daqui pode-se tirar inferências que sugerem transformações na prática pedagógica, no conteúdo dos livros didáticos e na formação do professor. As licenciaturas terão que ser alvo de reestruturações que levem em consideração as mais recentes pesquisas em ensino de física que apontam em direção diferente, às vezes contrária, à atualmente dominante nas escolas.” (ZANETIC, 1989, p. 131)

A interpretação do conhecimento científico a partir de suas dimensões estéticas além de dar conta das contradições da modernidade, pode instaurar uma outra possibilidade de episteme onde o saber pode ser encarado como um potencial para a reconstrução da experiência, perdendo o seu caráter messiânico de consumação em um futuro irrealizável para se abrir para a efetivação no presente

O desenvolvimento de processos de experiências com conteúdo estético e cognitivos entrelaçados aparece, portanto, como princípio e como finalidade de uma concepção educacional que entende que os esforços da educação devem estar voltados para instilar no sujeito a

---

<sup>25</sup> A apreciação estética do saber pode iniciar pelos elementos da ciência que são desconsiderados pelo conhecimento instrumental: os significados da experiência individual e social (SILVA, 2010).

<sup>26</sup> [...] a experiência é a afirmação da necessidade de salvaguardar a subjetividade, o apaixonar-se e entregar-se às coisas indispensável à construção dos significados e da riqueza de cada existência singular (SILVA, 2010, p. 21). Experiência estética é ver o mundo todo o dia com o olhar de primeira vez.

<sup>27</sup> A imediaticidade de termos e expressões estéticas embasa o desenvolvimento de uma experiência estética imediata, que proporciona uma visão totalizante dos elementos constituintes do objeto e não como partes seriadas de um todo. “Alcançar a imediaticidade em percepções de objetos, fatos, conceitos, razões e procedimentos pertencentes a um domínio da ciência é um alvo que se coloca para a educação científica.” (SILVA, 2010, p. 70)

ideia de que as capacidades insuspeitadas dormitam nele em estado potencial, à espera de serem realizadas. Esforços não apenas para desencadear tal processo, mas principalmente, dar subsídios para que o sujeito inscreva em definitivo o Belo em seu projeto de vida e possa dar início a uma busca que dure por toda a sua a vida. (SILVA, 2010, p. 11)

Podemos conciliar a apreciação estética com o Ensino de Física quando encaramos a Física como uma fonte de experiência estética do mundo, onde a elaboração do saber demanda um intenso exercício da imaginação, intrinsecamente relacionado com a reflexão, a sensibilidade e as faculdades racionais, sendo que estas últimas não anulem a admiração e a surpresa como ferramentas de elaborações de saberes em Física, pois a aprendizagem é antes de tudo um processo na direção da compreensão<sup>28</sup>, de elaboração de significados e de sentidos, os quais não são fixos; são incessantemente transformação à medida que novas realidades são experienciadas.

Esse processo de formação e extensão da compreensão não é linear, é modulado por ciclos de ajuste e internalização da experiência, ocorrendo picos de clímax onde os propósitos das atividades são atingidos, favorecendo por sua vez a formação de totalidades nas quais um manancial inesgotável de possibilidades de iterações dirigidas conscientemente pelo participante no sentido de participar da construção dos significados do mundo pode acontecer. Assim temos um Ensino de Física que propõe tanto o único como o múltiplo, provoca e dirige um movimento de busca incessante por um saber radicalmente diferente do que é apresentado pela episteme moderna.

A apreciação estética das peças de conhecimento científico<sup>29</sup>, atributo não relacionado com o prazer contemplativo, mas de valor epistêmico e cognitivo, pode acontecer pelo simples emprego de termos estéticos no cotidiano das atividades docentes, vez que as palavras podem ser consideradas como elementos autocontidos, que possuem uma relativa autonomia quanto aos seus usos em situações específicas, mas inseridas em atividades passíveis de serem compartilhadas e não dadas antecipadamente de modo completo e finalista (SILVA, 2010).

---

<sup>28</sup> A aprendizagem é processo complexo onde os componentes contextuais de significado que somente são encontrados na experiência da singularidade influenciam sobremaneira a compreensão científica efetivada quando do desenvolvimento de atividades compartilhadas (SILVA, 2010).

<sup>29</sup> *peça de conhecimento físico*: é uma classe de um artefato simbólico ordenador do mundo físico, instituído por um conjunto de regras para as quais é possível escrever um caráter notacional (SILVA, 2010)

Outra possibilidade da apreciação estética em Ensino de Física é reconhecer os traços constitutivos do conhecimento produzido em física, concentrando esforços na compreensão dos encaixes e concatenação de conceitos heterogêneos para compor uma teoria, ou buscar compreender como a simplicidade e a economia de uma teoria são esteticamente valorizadas. Nesse contexto o papel do professor de Física como interprete é crucial, é preciso concentrar esforços nas minúcias, nos detalhes, valorizar o aparentemente insignificante, mas capaz de evidenciar nuances delicadas que se encontram soterradas na massa das informações.

Assim o professor de Física se aproxima do interprete de uma peça musical, ao realizar leituras dramáticas e agudas das leis físicas<sup>30</sup>, narrando a si mesmo, o seu modo de perceber e organizar o conhecimento, explicitando para a comunidade escolar a sua compreensão da natureza. Ao fazer isso, permite e intensifica a elaboração de significados e de sentidos, favorecendo a compreensão da especificidade da Física e de sua relação com os outros saberes e com a realidade concreta. Além disso, abre caminhos de conexões do pensamento com ideias abstratas, concebendo mecanismos de transformação adaptados para seja possível a construção pontes para os significados possíveis em Física.

O conhecimento do mundo não ocorre por uma simples assimilação do que é dado como absoluto, conhecimento é algo relacional entre o velho e o novo, uma tensão entre semelhança e diferença. Os conhecimentos em Física como objetos de apreciação estética podem ser explorados a partir de uma vasta gama de linguagens disponíveis que não só a linguagem matemática, é possível operar com símbolos verbais e não verbais, palavras e ações. Fazer uso de diversas linguagens e perseguir o movimento, atentar para os desdobramentos, perseguir relações que garantem o movimento da experiência, as consumações, as distinções e as funções referenciais exercidas, com o intuito de dar continuidade ao processo de formação de totalidades de significação e de conectá-las com outras totalidades (SILVA, 2010).

O conhecimento é iluminação e não pode, sob qualquer alegação, ser a negação do universo humano que o elabora.

---

<sup>30</sup> A performance implica interpretação, uma realização prática de uma obra, onde um público alcança um conhecimento particular dessa obra a partir da leitura que dela faz o interprete, que pode acentuar determinados aspectos da obra em detrimento de outros de modo que cada interpretação e a obra em si mantém as suas singularidades e de modo algum uma invalida a outra.

### 2.3 A análise conceitual histórica e o Ensino dos Processos de Eletrização

É de ampla aceitação que, devido a seu objeto de investigação, a Física, antes de tudo, é uma ciência natural, mas ao adotar o conceito de teoria física e das dimensões da Física aqui abordados, podemos aceitar que, além de seu caráter natural, a Física também possui elementos de ciências humanas e de outros campos do saber; sendo, pois, uma ciência predominante, mas não exclusivamente natural.

No que se refere ao Ensino de Física a situação se passa de modo bem mais complexo, pois se de um lado é preciso problematizar a Física como uma ciência natural inserida no contexto amplo da cultura contemporânea (ZANETIC, 1989), com o seu rigor lógico, com sua linguagem matemática e com todas as suas facetas epistemológicas (BUNGE, 1982); por outro lado essa prática só tem significados e sentidos quando não se perde o seu objetivo primordial que é a afirmação do humano como sujeito capaz de conhecer. Dessa forma, o Ensino de Física é paradoxalmente uma ciência natural, por conteúdo, e humana, por seus métodos e técnicas de abordagem desse conteúdo e por acontecer em grupos humanos inseridos em contextos espaço-temporais específicos.

Encarando o Ensino de Física a partir dessa concepção, abrimos às práticas a uma gama infinita possibilidades de abordagens sem, contudo, perder de vista o rigor desse saber, o que exige também um outro nível de sensibilidade do profissional que precisa incorporar essas linguagens sem perder a especificidade de seu objeto de estudo e ensino. Assim, os temas em Física passam a ser encarados como oportunidades de problematizar a própria Física como uma elaboração social delimitada no espaço e no tempo, isso pode ser efetivado incorporando nos próprios temas elementos de História e Filosofia da Física, realizando operações de análises conceituais históricas atreladas ao próprio enriquecimento material das teorias.

Precisamos fazer isso em detrimento de apresentar leis e exemplos dessas leis como invariantes espaciais e temporais que estão ali e sempre estarão à espreita de um sujeito cognoscente. Pensando desse modo o conteúdo perde o seu status terminal e assume uma posição, assim como o professor, de mediador entre a Física e o aluno, vez que a Física não se caracteriza somente pelos seus conteúdos, suas leis, suas experiências, antes é uma totalidade, uma síntese integradora de saberes acerca natureza, onde devido a ser uma ação antrópica é repleta de contradições.

Ensino de Física é uma batalha diária de tentativa de modificação de estruturas mentais de longa duração, por isso o trabalho educativo deve ser meditado,



minuciosamente planejado e mesmo assim teremos resultados de pouco impacto, devido a infinitesimal velocidade do movimento dessas estruturas de longa duração, que são extremamente lentas, o que pode ser interpretado como uma ineficácia da ação por não termos instrumentos adequados para medir o impacto das ações educativas nessas estruturas. Ensino de Física é questionamento, é desestabilizar o sujeito, provocar, instigar a responder, a inquirir a qualidade da sua resposta e pensar na contramão, voltar para a mão, é lidar com o sonho, com a realidade, com abstração, com a comparação, com a analogia, com a alegoria, é encarar as possibilidades que não são as que estão como as regras do jogo da vida da reprodução da existência material, é afirmar a singularidade do sujeito capaz de conhecer. Nesse sentido o Ensino de Física pode se configurar como um dos espaços sociais para a reconstituição da experiência (**Erfahrung**), nos moldes pensados por Walter Benjamin (1987).

Sabemos que todo processo de compreensão é uma mediação entre dois pensamentos conflitantes. O aprendizado pode ser interpretado como um diálogo entre a expectativa do observador e a ideia criada ou defendida pela comunidade científica; é como a apreciação estética de uma obra de arte (GAMA: 2006). A ciência é inacabada, completada, finalizada pelo olhar de quem apreende (SILVA: 2010). Por isso mesmo precisamos atentar para o campo semântico no qual gravita as ideias relacionadas ao Ensino de Física. O principal desafio para o Ensino de Física não é só proporcionar ao sujeito possibilidades de perceber como a Física está inserida no seu cotidiano, mas também possibilidades de perceber como a Física é uma estrutura indissociável do mundo contemporâneo e como as relações de poder jogam com esse ramo do conhecimento. Para reorientar a prática docente no Ensino de Física, precisamos diversificar as linguagens passíveis de preencher o espaço da sala de aula, precisamos ter em mente que por mais que alguma categoria ou conceito sejam óbvios para nós professores, por mais que uma definição seja evidente, os alunos não possuem a mesma experiência e nem a mesma maturidade linguística que nós professores. Há uma assimetria linguística. O professor atua, no sentido cênico, interpretando o saber, sempre reelaborando o jogo entre expectativa e clímax, visando sempre a finalidade do Ensino de Física articulado com o intenso agora, o momento da ação (MITROVITCH: 2007), da compreensão, da afirmação positiva da singularidade do humano. Assim o ato de saber ganha matizes estéticos, vez que é fonte de prazer e de problematização do humano.

Quando um sujeito é posto diante de um problema ele se vê às voltas com ele mesmo e tenta de todos os modos possíveis e imagináveis a resolver o dito problema. Não

raro, os sistemas educativos formais não valorizam essas tentativas, priorizando apenas a resposta correta, traduzida numa escolha entre cinco possibilidades, ou o método da resolução já consagrado pela comunidade científica. Ao resolver um dado problema o estudante lança mão de habilidades como criatividade, poder de invenção e combinação, imaginação, poder de iniciativa, entre outras, que põem essa atividade no campo semântico da arte, e que essas habilidades não são comumente utilizadas no Ensino e na Aprendizagem padronizadas pelos sistemas educativos formais.

É nesse cenário que pensamos o Ensino de Física pautado em elaborações históricas conscientes das dificuldades conceituais em história, em educação e em filosofia, onde propomos caminhos possíveis para a superação das contradições e problemas epistemológicos aqui apontados.

Na elaboração de nossos textos enfrentamos o desafio das palavras como índices de ideias, isto é, embora elas não representem a ideia, fornecem pistas de como o narrador articula suas ideias. Assim tomamos o cuidado de não usar terminologias tão caras à historiografia da ciência tais como *descoberta*, *invenção*, os nomes próprios extremamente adjetivados e carretados de uma solidão e um pioneirismo na pesquisa. Também o cuidado com as palavras no sentido de evitar o anacronismo como por exemplo adjetivar de físico um pensador da antiguidade, medievo, renascentista, moderno, vez que temos consciência que a divisão do conhecimento nos moldes como conhecemos na atualidade é um fenômeno relativamente recente, datando do final do século XIX para o início do século XX.

Outro cuidado com as palavras que observamos ao longo da construção de nossos textos foi o de não referência a fenômenos observados, documentados e explorados no passado sob a égide dos conhecimentos que dispomos quando da elaboração dessa pesquisa. Assim, acreditamos que é um erro historiográfico, um anacronismo afirmar que Tales de Mileto já observava os processos de eletrização na Antiguidade, ou mesmo que assim o fazia outro filósofo natural ou experimental da modernidade tal com Du Fay ou mesmo Franklin. Ao invés de processos de eletrização, optamos pela expressão de atração ou repulsão de corpos quando atritados, apresentando algumas pequenas variações de acordo com o contexto em questão.

Na pretensão de uma história capaz de superar as dicotomias entre a perspectiva internalista e externalista, temos como referencial de trabalho uma história pautada na duração, nas mudanças e permanências de elementos sejam eles teóricos ou materiais, fazemos isso com o desejo de integrar num todo em movimento – sendo que o desafio é

apreender o ritmo e a velocidade desse movimento – tanto no que se refere aos mecanismos e à dinâmica das ideias que patrocinaram a elaboração da teoria dos processos de eletrização quanto nos aspectos humanos e sociológicos dos espaços e dos tempos nos quais os ingredientes dessa teoria foram gestados.

A narrativa historiográfica aqui construída está concentrada principalmente nos séculos XVI, XVII e XVIII, com algumas dilatações temporais tanto regressivamente quanto progressivamente com o intuito de recuperar elementos importantes de temporalidades não pertencentes a esses séculos e que são cruciais para a compreensão da narrativa<sup>31</sup>.

O tempo de elaboração de algumas ideias em eletricidade é o mesmo tempo da transição entre a forma de conhecer característica das sociedades antigas e a nova proposta de conhecimento que marca o espaço ocidental de um tempo que vai do século XV ao século XX, sendo que a teoria da eletricidade é filha do Esclarecimento (**Aufklärung**), tanto no espaço quanto no tempo. Enquanto o conhecimento antigo encarava a natureza como um organismo vivo com o qual o sujeito conhecedor interagia buscando a harmonia, a contemplação, o entendimento mais que o domínio, o conhecimento moderno foi gradativamente se constituindo a partir de uma nova espiritualidade, de uma mudança radical na postura filosófica em relação a natureza, vista agora como um sistema mecânico, desprovido de caráter divino, houve assim uma dessacralização da natureza (KOYRÉ, 2006).

Temos então duas formas diferentes de pensar que culminam em duas formas diferentes de agir no intuito de conhecer, respostas diferentes a preocupações diferentes em relação a um mesmo objeto, a natureza. Assim o conhecimento antigo e o conhecimento moderno diferem quanto aos métodos, às concepções de saber e concepções de natureza (BELTRAN, 2014).

O conhecimento científico positivista pautado na atividade experimental controlada, na linguagem matemática pretensamente objetiva e aparentemente distante tanto dos elementos religiosos quanto dos elementos filosóficos se constitui num processo

---

<sup>31</sup> Nessa periodização e principalmente no século XVII temos o estabelecimento das bases do que viera posteriormente a ser chamado de método científico: um conjunto de regras mais ou menos estáveis orientadoras da atividade capaz de produzir um conhecimento pretensamente válido. A história dos processos de eletrização de certo modo é também uma face da história da constituição de um método científico ambicionado como um padrão a ser seguido.

de longa ou média duração e possui suas características delineadas somente no final do século XIX.

O professor de Física, vez ou outra, é confrontado na sua prática docente com diversos questionamentos tais como: Como Ensinar Física? Que escolhas teóricas ou metodológicas devemos fazer frente a um dado conteúdo a ser abordado em sala de aula? Que orientação devemos dar a nossas atividades: concentrar esforços em práticas experimentais ou no formalismo matemático referente a um modelo teórico explicativo de um fenômeno físico? Quais os limites e as possibilidades do pensamento analógico como ferramenta didática em Ensino de Física?

Toda e qualquer atividade em Ensino de Física, na prática experimental ou na pesquisa aplicada em Física Teórica, possui uma fundamentação epistemológica, consciente ou não, que a norteia. O desafio intelectual que é posto para o físico na atualidade é a proposição de uma filosofia da Física consistente que consiga abarcar como uma totalidade esses três ramos distintos do conhecimento físico. Caso o físico deseje uma solução plausível para tal problema, não pode esperar que outro profissional se ocupe do problema, não pode alienar-se, esquivar-se do problema, renegá-lo, postergá-lo. Antes deve aceitar a existência do problema, discuti-lo abertamente, aceitar a colaboração de outros especialistas como matemáticos, lógicos, epistemólogos, filósofos (BUNGE, 1982). A proposição de uma Filosofia é uma tarefa grandiosa e não pode ser levada a cabo de modo unilateral.

Como primeiro passo nessa empreitada podemos começar analisando como as teorias físicas se apresentam hoje nos manuais de ensino, nos textos base, nos currículos escolares e universitários e em seguida analisar como ocorreram as elaborações históricas de tais teorias<sup>32</sup>. Essa tarefa relativamente simples exporia a nu diversas inconsistências teóricas e alguns erros semânticos, lógicos, epistemológicos e sintáticos que ainda hoje reverberam em teorias físicas pretensamente completas e acabadas.

Em diversos manuais de ensino tanto de nível básico universitário quanto nos voltados para a Educação Básica é comum iniciar o estudo da teoria eletromagnética a partir da eletrostática, mais precisamente pelos processos de eletrização: eletrização por

---

<sup>32</sup> Uma Filosofia da Física capaz de superar o **Operacionalismo** precisa referir essencialmente à Física sem as reduções, as caricaturas, os empobrecimentos tão frequentes em diversos livros disponíveis no mercado. Deve também enfrentar com responsabilidade e os problemas filosóficos surgidos no curso da investigação ou na reflexão oriundas de problemas, métodos e teorias características da Física, propondo soluções claras, inteligíveis e consistentes.

atrimento, eletrização por contato e eletrização por indução, apelando para o caráter empírico e fenomenológico desse saber.

O que causa impacto imediato é a referência aos gregos como os primeiros estudiosos que se ocuparam da eletricidade, indicando que o termo elétron possui origem grega e é devido ao âmbar, uma espécie de resina vegetal que apresenta propriedades elétricas quando sofre algum processo de atritamento superficial. Em seguida é apresentado o conceito de carga elétrica como sendo uma propriedade fundamental da matéria, os princípios fundamentais da eletricidade (Princípio da Conservação da Cargas Elétricas, Princípio da Atração/Repulsão da Cargas Elétricas) e a quantização da carga elétrica.

No geral esses procedimentos são realizados na primeira ou segunda aula do curso de modo mais ou menos espontâneo e operacional. Mas o que esse procedimento deixa implícito é que o conceito de eletricidade dos gregos não possui qualquer diferença do conceito de eletricidade aceito na contemporaneidade, de modo que induz a pensar que os temas abordados no presente da sala de aula já eram conhecidos na Antiguidade. Dessa forma incorre-se em um anacronismo bidirecional e no esvaziamento das possibilidades de problematizações epistemológicas além de se apresentar uma imagem da Física como um saber estático.

O anacronismo bidirecional ocorre por aproximar os relativamente distantes e por distanciar os relativamente próximos. Ao usar o termo eletricidade tanto no contexto da Antiguidade Clássica como no contexto da teoria da eletricidade válida na contemporaneidade aproximamos por indistinção duas ideias muito distantes no tempo e radicalmente diferentes, pois o que era compreendido como eletricidade pelos gregos pouco ou nada tem a ver com o que hoje entendemos como eletricidade, assim é preciso admitir a historicidade do termo eletricidade. O significante pode ser o mesmo, mas o significado com certeza não, as palavras também possuem história.

Ao apresentar a ideia de quantização da carga elétrica justaposta com o Princípio da Atração/Repulsão das cargas elétricas e mesmo a ideia de carga elétrica ladeado com o Processo de Eletrização por Atrito, incorre-se mais uma vez em um anacronismo uma vez que o fenômeno de atração de corpos leves quando atritados fazia sentido na cosmologia grega antiga, mas os demais saberes não existiam. Por distanciar no tempo as ideias de elétron, de carga elétrica e de quantização de carga elétrica, que são conhecimentos consolidados principalmente no início do século XX, associando-os ao

universo grego também incorremos em um anacronismo, só que agora no sentido inverso do primeiro, distanciamos temporalmente o relativamente próximo.

Ao justapor de modo a histórico a eletricidade grega com a ideia contemporânea de elétron silenciámos ou escamoteámos o processo, o movimento de constituição do saber e apresentamos uma Física que embora nova, é interpretada como velha, caduca e sem conexão com a vida. Ora da concepção grega de eletricidade até à suposição da existência do elétron como sendo uma partícula material dotada de propriedades físicas como massa e carga elétrica, temos um grande intervalo de tempo, uma longa duração, caracterizando principalmente pela ação antrópica no sentido de elaborar modelos teóricos explicativos acerca dos diversos fenômenos naturais até então observados, mas carentes de explicações logicamente encadeadas, coerentes e que apresentasse algum poder preditivo.

Perseguir o movimento de constituição da teoria da eletricidade nos moldes como a compreendemos hoje é antes de tudo buscar compreender o movimento de constituição da própria Física como ciência moderna, é perceber o quão árduo é o ato do conhecimento, quais elementos condicionam, integram, limitam, possibilitam esse ato. Percorrer essa trilha intelectual nos coloca vez ou outra de frente com os monstros, os fantasmas, os problemas epistemológicos que maculam o modo como a teoria é apresentada. Trilhar por esse caminho pode fornecer ferramentas para a superação do modo como o conhecimento é partilhado, é abrir o conhecimento físico para interpretações e valorações estéticas, é inserir o humano no seu ato fundante de saber.

Quando tratamos de eletrização por atrito, eletrização por contato e eletrização por indução, nessa ordem e em uma mesma página, também negamos o movimento, negamos o longo processo de maturação do psiquismo dos sujeitos que se ocuparam com tais problemas. Pela história, sabemos que os movimentos de corpos leves quando atritados era uma realidade observada em um tempo que se perde na cronologia, impossível de ser datado, mas os outros fenômenos embora sempre existentes, embora observados, não eram dignos de registro ou de esforços no sentido de compreendê-los seja pela teoria da eletricidade seja por quaisquer outros modelos explicativos; de modo que o movimento de corpos leves quando postos em contato só foi inserido no bojo da eletricidade somente depois do século XVI, mais recente ainda foi a problematização da indução.

O estudo histórico dos processos de eletrização, além de concentrar esforços nas minúcias e nos detalhes desprezados pelas formas padronizadas de se apresentar esse saber, também propõe uma dinâmica radicalmente inédita, vez que se antes os processos

de eletrização são apresentados na unidade relacionada a fenômenos de equilíbrio eletrostático agora podem ser apresentados na perseguição da constituição da ideia de elétron, como sendo o elemento basilar da teoria eletromagnética. Assim, extrapola o modo estanque de apresentação, evidenciando uma Física repleta de vida e de movimento.

No modo como os processos de eletrização são apresentados, faz-se referências a procedimentos experimentais, pelo menos no âmbito teórico e da abstração, de transferir ou induzir cargas elétricas de um corpo para o outro. Porém, gasta-se pouco tempo problematizando o próprio fundamento da teoria da eletricidade que é a noção de carga elétrica. Agir desse modo é de certa reforma reproduzir os passos epistemológicos de constituição dessa teoria, que teve grande avanço semi fenomenológico, principalmente a partir do século XVI, sendo que seus fundamentos somente foram estabelecidos no início do século XX com o experimento de Milikan e a proposição da Mecânica Quântica.

Ao optar pela abordagem de média duração, do século XVII ao XX, perseguimos não só o delineamento dos processos de eletrização, mas também diversos ramos da eletrodinâmica como os efeitos térmico, químico, fisiológico, luminoso e magnético da corrente elétrica. Problematizamos também o processo de incorporação dos fenômenos atmosféricos do raio relâmpago e do trovão à teoria da eletricidade, perseguimos os desdobramentos que desembocaram na lei da força eletrostática, resgatamos os processos analógicos de produção do saber em eletricidade a partir da dinâmica dos fluidos sutis e mecânicos e da analogia mecânica-eletricidade no contexto da lei do inverso do quadrado da distância.

Assim, por falta de um termo melhor para se referir aos constructos históricos aqui elaborados usamos o termo processos de eletrização, mas acabamos por fazer uma reconstituição panorâmica do movimento de consolidação da teoria da eletricidade desde as suas ideias mais elementares até a consolidação da ideia de elétron, fornecendo uma imagem geral dos problemas práticos e teóricos enfrentados nessa empreitada, as soluções originais, as soluções analógicas e a relação do saber produzido com o tempo e o espaço de sua produção

No recorte de média duração, do século XVII ao XX, já temos uma gama infinita de problemas epistemológicos que podem ser explorados no sentido de proporcionar um quadro geral e amplo do que de fato é a Física, ou de como ela se constituiu. Vale lembrar que até o final do século XIX a Física como a conhecemos hoje não existia, de modo que fazer referência a saberes do passado ou sujeitos que se ocuparam de estudos de teorias que hoje são físicas usando o termo física ou físico é no mínimo um outro anacronismo.

Os processos de longa duração e de média duração imbricados na constituição da teoria da eletricidade por si só negam diversas concepções filosóficas acerca da Física, principalmente o idealismo platônico, favorecendo a compreensão realista e material da Física. Tanto no Ensino de Física quanto na constituição de diversas teorias físicas diversos elementos de longa e média duração estão presentes, sendo que o problema da apreensão ou não da duração das permanências de certos saberes em Física em detrimento de outros conhecimentos pode se configurar como um problema epistemológico com profundas consequências para as relações de ensino e aprendizagem.

A longa duração se manifesta no Ensino de Física quando por exemplo ao se trabalhar com gravitação universal e sem preparar a pergunta, inquirir abertamente um aluno acerca da queda dos corpos, este, mesmo tendo estudado exaustivamente o tema, poderá afirmar que o corpo mais massivo desenvolverá um movimento com maior velocidade. Esse é apenas um caso de vários, sem contar na propagação das convenções e erros que ainda hoje reverberam em Física como o sentido real e convencional da corrente elétrica ou o mal-estar do tempo no Sistema Internacional de Medidas e Unidades. Percebemos que os alunos compreendem de modo racional, mas não se apropriam desse saber sem antes muito relutar consigo mesmo, pois aprender é antes de tudo uma atividade afetiva e emocional.

Outro grande mal-estar pode ser evidenciado quando estamos operando com os conhecimentos basilares da mecânica. Percebemos uma grande dificuldade de problematização dos conceitos de espaço e tempo e a mais que apressada apresentação da definição de velocidade média. Essa inabilidade é percebida até mesmo em Isaac Newton que delega a responsabilidade do espaço e tempo absolutos a Deus. O homem contemporâneo, assim como Santo Agostinho, sabe o que é o tempo quando se propõe a pensar sobre o tempo, mas não sabe o que o tempo é quando é questionado sobre a existência do tempo. É um aprendizado que decorre da experiência humana, compartilhada na cultura. É a vivência, a experiência de espaço e de tempo que vai constituir a ideia que temos sobre esses termos. As noções de espaço e tempo acompanham o homem desde a sua aurora, mas também esses termos possuem sua historicidade, o próprio tempo é vítima atroz de sua temporalidade<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> Hoje sabemos um pouco mais sobre a natureza do espaço e do tempo, mas não temos a compreensão da importância de problematizar esses conceitos na sala de aula quando da introdução da Mecânica na Educação Básica. Nesse sentido acabamos por criar uma pirâmide de conhecimentos e de definições de grande poder de síntese e de profundo impacto tecnológico tendo



Para auxiliar nossa compreensão adotaremos como pressuposto que os conceitos e as teorias são constituídos e modificados pela interação do sujeito com os instrumentos e elementos materiais que integram uma dada realidade na qual o sujeito está inserido. Nesse contexto os instrumentos medeiam a interação do sujeito com suas estruturas mentais, modificando-as e desenvolvendo o psiquismo que por sua vez, em um movimento dialético retorna novamente para o universo material dos instrumentos, como gatilhos para novas mediações, qualitativamente diferentes das iniciais, em um loop de aceleração das pesquisas e estudos em eletricidade.

Para superar as perspectivas internalistas e externalistas, que apresentam leituras de realidade histórica de modo fragmentado, admitimos como pressuposto que mudanças históricas na sociedade e na vida material produzem mudança no universo humano, afetando tanto o comportamento quanto a consciência do sujeito histórico<sup>34</sup>, de modo que há uma estreita correlação entre a vida material e a questões psicológicas concretas (VYGOTSKY, 2000).

Um ponto central do método materialista dialético é que todos os fenômenos são percebidos como processos em movimento e em mudança. Todo fenômeno tem sua história, caracterizada por mudanças quantitativas e mudanças qualitativas, isto é, mudanças tanto na forma quanto na estrutura e nas suas características básicas.

Nesse sentido, como condição ontológica, pelo trabalho, a ação humana pode transformar a natureza, forjando materialmente a sociedade e consolidando o ser. Ao agir o ser atinge um objetivo que antes de ser efetivado fora projetado na consciência, o sujeito mentaliza o seu resultado antes de agir. Com essa capacidade de idear antes de objetivar o ser cria diversas possibilidades de ação e ao escolher algumas possibilidades em detrimento de outras, cria algo radicalmente novo, modifica a natureza sem a destruir e modifica a si mesmo, amadurece seu psiquismo, reorienta suas práticas, produz instrumentos e ferramentas com os quais retorna novamente para a natureza fomentando novas objetivações<sup>35</sup> (LESSA, 2011). Assim, o uso de instrumentos é um meio pelo qual

---

a sua base voltada para cima e o vértice sustentado pelos termos espaço e tempo. E assim começa a introdução do sujeito a pensar a Física na Educação Básica, sem que tenha uma pequena compreensão ou pelo menos uma reflexão sobre os termos espaço e tempo.

<sup>34</sup> Vygotsky explorou a fundo a ideia de que as atividades tecnológicas de uma população são a chave da compreensão do psiquismo dessa população.

<sup>35</sup> O resultado de processo de objetivação é, sempre alguma transformação da realidade. Toda objetivação produz uma nova situação, pois tanto a realidade já não é mais a mesma (em alguma coisa ela foi mudada) quanto também o indivíduo não é mais o mesmo, uma vez que ele aprendeu

o homem transforma a natureza e, ao fazê-lo, transforma também a si mesmo (VYGOTSKY, 2000)

O processo de objetivação, a transformação da natureza pelo trabalho, fundamento do ser social, vez que o sujeito só existe em sociedade com a qual se relaciona e essa relação ocorre pelo trabalho<sup>36</sup>; é crucial para a compreensão da ideia de mediação<sup>37</sup>, ideia capital para a elaboração de nossa narrativa histórica.

Ao problematizar a constituição da teoria da eletricidade em sua dimensão temporal concentrando esforços nas formas como essa teoria foi materialmente enriquecida observamos que há uma estreita correlação entre os instrumentos materiais elaborados única e exclusivamente com o intuito de se pesquisar a teoria da eletricidade e os conhecimentos que foram constituídos a partir da interação com esses instrumentos. Do perpendicular à balança de torção elétrica, há uma grande quantidade de instrumentos materiais voltados para o estudo da eletricidade criados e gradativamente aperfeiçoados até culminar com a elaboração de instrumentos dotados de escalas de medição, o que possibilitou a matematização da teoria. O estabelecimento dessas relações matemáticas precisas em eletricidade impulsionou o desenvolvimento de teorias matematizadas, quantitativas da eletricidade e do magnetismo em detrimento dos conhecimentos experimental e descritivo característicos dos séculos XVII e XVIII. No século XIX, houve a ousadia de se buscar explicações mais abstratas dos fenômenos ora em tela, tendo como elemento balizador e fonte de inspiração a mecânica newtoniana, a partir da qual foram estabelecidas certas analogias tanto teóricas quanto experimentais. Nesse contexto a teoria dos fluidos foi de grande utilidade para a construção de uma teoria eletromagnética não só consistente quanto à explicação fenomenológica e operacionalista como também coerente com o conhecimento da filosofia natural socialmente aceito.

---

algo com aquela ação [...] ao construir o mundo objetivo, o indivíduo também se constrói (LESSA, 2011, p. 19).

<sup>36</sup> O trabalho é a categoria fundante do universo humano, pelo trabalho são produzidas as bases materiais da existência e as condições de transformação da natureza.

<sup>37</sup> [...]Vygotsky estendeu o conceito de mediação na interação homem-ambiente pelo uso de instrumentos, ao uso de signos. Os sistemas de signos (a linguagem, a escrita, o sistema de números), assim como o sistema de instrumentos, são criados pelas sociedades ao longo do curso da história humana e mudam a forma social e o nível de seu desenvolvimento cultural. Vygotsky acreditava que a internalização dos sistemas de signos produzidos culturalmente provoca transformações comportamentais e estabelece um elo de ligação entre as formas iniciais e tardias do desenvolvimento individual. (VYGOTSKY, 2000, p. 7)

Outro ponto que merece destaque é que os textos de história da eletricidade enfatizam a exaustão da experimentação, mas não problematizam as possibilidades e as limitações desses experimentos de modo que podem induzir o leitor a ter como sinônimas a ideia de experimento contemporânea com a ideia de experimento moderna. Ora o experimento moderno de muito difere do experimento contemporâneo, a começar pelo seu caráter qualitativo, principalmente nos séculos XVI, XVII e XVIII e pela escassez do tão rigor metodológico característico da experimentação contemporânea

Debruçando-nos sobre a história da teoria da eletricidade, observamos que não existe um todo coeso capaz de ser denominado História da Física, mas sim um conjunto de saberes mais ou menos dispersos, cada um seguindo um caminho próprio, com especificidades e problemas epistemológicos específicos. Cada teoria que hoje compõe a Física apresenta trajetórias temporais únicas, cada teoria possui uma história que é irreduzível. Assim a história da Cinemática não se confunde com a história da Dinâmica, que não se confunde com a história da Gravitação Universal e assim sucessivamente

Para incorporar os elementos aqui problematizados nos processos avaliativos, propomos provocar os sujeitos escolares a trabalharem com produções textuais acerca do que está sendo trabalhado em sala, como sínteses integradoras e como tradução para nós mesmo do que estamos pensando sobre o dito trabalho. Produzir textos é se projetar violentamente no papel, é criar, é afirmar a humanidade singular de quem escreve, é existir, é materializar índices de ideias, é fornecer pistas de como estão funcionando as estruturas mentais e internas (JOBIM E SOUZA: 1994). Assim temos um rico material para nos debruçarmos e repensarmos o Ensino de Física.

### 3 PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

---

*O exterior de uma ciência é mais e menos povoado do que se crê: certamente, há a experiência imediata, os temas imaginários que carregam e conduzem sem cessar crenças sem memória, mas, talvez, não haja erros em sentido estrito, por que o erro só pode ser decidido no interior de uma prática definida; em contrapartida, rodam monstros cuja forma muda com a história do saber. Em resumo, uma proposição deve preencher exigências complexas e pesadas para poder pertencer ao conjunto de uma disciplina; antes de poder ser declarada verdadeira ou falsa, deve encontrar-se, como diria M. Canguilhem, “verdadeiro”. (FOULCAULT, 1999, p. 33-34)*

Antes de nos ocuparmos estritamente com a história dos processos de eletrização, tentaremos de modo bem resumido elencar alguns elementos importantes relativos ao contexto sócio histórico no qual os conhecimentos sobre eletricidade foram elaborados. Ao fazer isso, pretendemos inserir as discussões em um quadro teórico mais amplo, com vista a superar a dicotomia entre abordagem internalista e abordagem externalista. Esses elementos foram importantes justamente por fomentar a constituição da episteme moderna e alguns deles estão elencados abaixo:

#### **1. Mudança na literatura e na arte**

Na arte renascentista temos o ineditismo da ideia de perspectiva, realidade não conhecida pelos povos da antiguidade, o que tornara possível uma nova forma de percepção visual da realidade e de representação da profundidade, isto é, desenhos bidimensionais capazes de fornecer a ideia de tridimensionalidade. (ALFONSO-GODFARB, 2004). Além disso a perspectiva proporciona a aceitação da relativização do olhar. Essas duas possibilidades efetivamente produziram modificações qualitativas no psiquismo de homem europeu de então.

#### **2. Revalorização das artes manuais**

O fortalecimento das atividades comerciais, o enfraquecimento do antigo modo de produção feudal baseado na servidão e na vassalagem abrem o caminho para a mobilidade social e para o estabelecimento das corporações de ofício, que seriam grupos laborais e de formação tanto cultural quanto profissional que detinham o conhecimento técnico de produção de um dado produto tais como indústria têxtil, indústria do couro, construção civil, construção naval.

A revalorização das artes manuais é de grande importância, vez que representa uma profunda mudança no psiquismo que vai posteriormente permitir o desenvolvimento

da atividade experimental controlada (ZILSEL, 2018). Aqui teremos uma grande novidade em relação ao passado é a criação de mecanismos e dispositivos com a finalidade única e exclusiva de se analisar uma dada realidade teórica.

### **3. Herança cultural da Antiguidade e releitura de textos antigos, principalmente os clássicos**

A Europa medieval e renascentista tinha diversas heranças culturais oriundas das antigas civilizações mediterrânicas. A tradição oral garantiu a transmissão de saberes antigos de diversas culturas: grega, romana, persa, egípcia, fenícia, mulçumana. De modo que um rico diálogo com o passado de outras culturas, de consolidação de um conhecimento pelo cotidiano e pela experiência comum, de desenvolvimento de técnicas e dispositivos diversos tais como facas, armas, roda, moinho, sistemas de irrigação, cunhagem da moeda, técnicas de comércio, de agricultura, de armazenamento de produção; foram cruciais para o protagonismo da Europa no que diz respeito ao desenvolvimento científico moderno.

Além disso, a releitura de textos da antiguidade clássica e de textos de outras culturas proporcionaram à Europa um acesso a um acervo cultural escrito de cerca de mil anos, tratando dos mais diversos temas como literatura, artes, política, astronomia e diversos outros temas.

### **4. Desenvolvimento da burguesia e dos estados nacionais**

As atividades comerciais no continente europeu em relação aos séculos XI, XII, XIII e XIV sofreram um crescimento, com o estabelecimento de rotas comerciais, desenvolvimento de novos produtos, busca de produtos importados. Esses empreendimentos favoreceram o crescimento da classe comercial dos comerciantes que mesmo sem poder político tinham grande prestígio econômico. A emergência dessa classe social questiona os direitos aristocráticos tidos como naturais e sugere a possibilidade de uma nova ordem social.

Além disso, a progressiva concentração dos poderes políticos e bélicos na mão de um estado nascente forte, controlado de modo autoritário por reis esclarecidos favorece uma rica discussão política, filosófica, ética e moral acerca dos limites e possibilidades da lei, da justiça e da vontade do governante. É nesse contexto que temos uma rica produção de tratados sobre política e sobre leis.

### **5. Expansão marítima: desvelamento da humanidade e das formas de vida**

O deslocamento do centro econômico da Europa do Mediterrâneo para o Atlântico, traz consigo um conjunto de mudanças sociais, culturais e mentais para além

da economia. Nas viagens para além-mar, seja pela costa da África, seja para o continente americano ou mesmo de circum-navegação sempre havia tripulantes com algum saber e com a função de documentar toda a viagem. (ALFONSO-GODFARB, 2004).

A navegação longe da costa exigia a adoção de novos procedimentos que ultrapassavam o reconhecimento visual da costa. O desenvolvimento da bússola magnética e a navegação no norteada pelas estrelas fixas, não mencionadas nos textos antigos greco-romanos, apresentam uma novidade na navegação do século XVI e também trazem à tona consigo uma série de questionamentos acerca dos fenômenos naturais relacionados ao magnetismo terrestre e à Astronomia.

Antes da expansão marítima, o imaginário do homem antigo e medieval acerca da dimensão do planeta Terra se esgotava nas porções de terra e de água até então conhecidas: o continente europeu com seus mares e uma fatia da África. Até antes do século XV (século de intensas descobertas europeias) Europa era apenas uma das diversas regiões, onde a sociedade era limitada pelo espaço geográfico até então conhecido, limitado pelo oceano atlântico a oeste (carregado de significações míticas e fantásticas), ao norte o deserto gelado e pela cultura islâmica no resto de suas fronteiras. Navegação era costeira e principalmente pelo Mediterrâneo (BRAUDEL, 1983).

Com a expansão marítima houve um desvendamento do mundo acompanhado de profundas alterações nas estruturas mentais produzidas entre diversos fatores pela percepção de que o mundo era bem maior do que previa o conhecimento antigo (BELTRAN, 2014). Além disso, o contato com plantas e animais até então desconhecidos, com uma infinita gama de possibilidades de existências humanas representadas pelas culturas dos nativos dos continentes americanos colocam alguns questionamentos sobre as limitações e as possibilidades da existência do europeu (ALFONSO-GODFARB, 2004). Como explicar a vastidão geográfica do mundo e a possibilidade de existência de diversas outras possibilidades de vidas humanas que não a cristã e a árabe?

O intenso confronto cultural com astecas, incas, maias, continente africano, China, Índia provoca uma brusca alteração nas estruturas mentais europeias, pois o modo de vida, as técnicas, os saberes e os valores eram radicalmente diferentes (ALFONSO-GODFARB, 2004). Assim, o século XV proporciona a excitação dos sentidos do europeu de modo até então inédito. As novas texturas experimentadas fora do continente europeu, os cheiros das plantas e de outras coisas até então não conhecidas, o gosto de alimentos nunca provados, a excitação da visão por cores e objetos nunca vistos. Tudo isso provoca

uma intensa e inédita excitação dos sentidos, o que por sua vez proporcionou a ativação de sinapse cerebrais até então adormecidas.

A dessacralização do mundo, a unificação da fauna e da flora do mundo, a unificação microbiana do mundo, produz uma profunda alteração na sensibilidade do homem europeu exigindo deste a reeducação de seus sentidos e de sua forma experienciar o mundo.

Todo esse contato cultural funcionou como um processo de retroalimentação, onde ao sair de suas fronteiras, o europeu trouxe elementos culturais, técnicos, mentais e religiosos de outras culturas que fomentaram a expansão de suas próprias fronteiras geográficas, culturais e e intelectuais (ALFONSO-GODFARB, 2004).

## **6. Imprensa**

A imprensa possibilita dentre outras coisas uma aceleração e um barateamento na produção de livros, bem como diminui a possibilidade de erros ou distorções produzidas em um dado livro. Não só isso, permite também a produção em larga escala de livros, difundindo a cultura do livro em diversos estratos sociais, sendo possível então encontrar livros tratando dos temas mais variados que não só livros de filosofia ou livros religiosos.

## **7. Reforma Protestante**

Diante dessas profundas alterações nas condições materiais de produção, nas estruturas mentais, nas formas de sentir e pensar, o conhecimento antigo não tinha mais a capacidade de abarcar a totalidade do mundo. Assim, frente ao conhecimento antigo e medieval a ciência moderna se apresenta como um esforço coletivo de reelaborar o saber frente ao conhecimento oriundo da experiência (BELTRAN, 2014).

Se nos séculos XI, XII, XIII e XIV temos um conhecimento composto por diversos elementos como a alquimia, a cabala, os misticismos, o sistema escolástico, magia natural, a partir do século XV teremos um conhecimento mais operativo, relativamente preocupado com questões metodológicas e com implicações práticas, culminando com a proposta de ciência tal qual a apresentada no início do século XX.

A reformulação do saber europeu é mais notável no início com a reformulação do saber médico, este saber possui uma emergência prática ligada à existência imediata do ser, por isso é socialmente e historicamente valorizado, vez que o ser humano ao longo do tempo manifesta o desejo de eternidade, fuga da morte. Assim, os médicos além de grande prestígio social detinham grande poder, de modo a transitar por todas as formas de saber com o objetivo de superar a morte.

A medicina de então passou a se preocupar mais com os fins do que com os meios de obtenção de cura, de modo a incorporar diversos elementos das práticas pagãs de cura, uso de remédios diversos por simpatia; mas sinalizava também para uma sistematização do saber nos moldes de uma metodologia relativamente consistente.

A tarefa de reformulação do conhecimento europeu começa com a correção do saber médico, e prossegue com a contestação desse saber (ALFONSO-GODFARB, 2004). Fato intrigante a ser observado é a relação dos pesquisadores em magnetismo nos séculos XV e XVI com o saber médico. Os primeiros trabalhos de compilação dos saberes acerca das propriedades atrativas da magnética foram realizados por médicos, o que possivelmente evidencie que esse minério tinha interesse medicinal e fazia parte do cotidiano das práticas médicas do tempo em questão.

Essa reformulação do saber europeu, com todos os ingredientes acima elencados, fora possível também pelo abandono do *Organum* antigo em detrimento de uma nova forma de se conhecer pautada no método geral proposto por Francis Bacon. Este método é composto por um conjunto de regras para observar fenômenos e tirar conclusões a partir disso. É um método indutivo e de regras extremamente simples, poderoso e de fácil aplicação, não exige preparação previa do sujeito para aplicá-lo. Proposta extremamente atrativa. Não preconizava a experimentação e nem teorias, valorizava a experiência comum (BUNGE, 1980)

É fundamentado nesse método que teremos a efetivação das primeiras pesquisas em eletricidade nos séculos XV e XVI, e a partir dessas pesquisas, fruto do Esclarecimento e do projeto iluminista, teremos um movimento de conjunto iniciado pela descrição fenomênica, a criação de experimentos de movimento de atração e repulsão de corpos atritados, aprimoramento dos dispositivos experimentais e lenta elaboração de um corpus teórico que veio a compor a teoria da Eletricidade.

Os primeiros trabalhos modernos em eletricidade foram fruto de experimentos qualitativos associados a percepções já embebidas de teorias e interpretações relativamente originais. Paralelo a isso havia o trabalho matematizado da mecânica clássica de Newton. A matematização da teoria eletromagnética se dá no contexto da produção intelectual de Ampere, Coulomb, Biot Savart, Gauss, Weber e Ohm, entre os séculos XVIII e XIX (MEYER, 1972).



### **3.1 Do longínquo tempo estrutural à Máquina Elétrica: da visão espontânea ao olhar municiado de teorias**

A história dos processos de eletrização como fenômeno e não como teoria elaborada, considerando o caráter universal do conhecimento da Física, indicado pela mecânica clássica e reforçado pela mecânica relativista, talvez seja anterior até mesmo à constituição do planeta Terra. Entretanto partindo da proposta conceitual de Mario Bunge, o materialismo conceitualista e ficcionista, onde na sua tese 04 admite que para um objeto existir conceitualmente é necessário e suficiente que ele seja pensável por algum sujeito racional; podemos então admitir sem quaisquer erros historiográficos, que os fenômenos que vieram a constituir o corpus de saber hoje conhecido como processos de eletrização ocorriam na natureza de quando da inexistência do universo humano atravessando todo o processo de humanização culminando com a aurora das luzes positivista atrelada ao discurso higienista do século XIX.

Um fenômeno natural que possivelmente é mais antigo do que a própria humanidade e que hoje pode ser parcialmente explicado a partir da teoria eletromagnética vigente é o raio, que durante um grande intervalo de tempo esteve associado elementos religiosos e mitológicos, de modo que em diversas culturas antigas os raios se configuravam como uma manifestação dos poderes da divindade e um modo desta se comunicar com o plano terreno. Além de chamar a atenção humana devido o som produzido ou da emissão intensa e curta de luz, também sempre preocupou a humanidade vez que a ocorrência do raio provocava lesões e até a morte, destruição patrimonial, incêndios de florestas e outros infortúnios que acompanharam a humanidade até a difusão do uso massivo de sistemas conhecidos hoje como para raios.

Ao longo do processo civilizatório que cronologicamente constitui a própria idade da humanidade, os raios podem ter sido a primeira fonte de fogo, sem a qual, possivelmente não haveria o desejo de controle do fogo e nem o desejo de elucidá-lo seja na perspectiva da mitologia seja na perspectiva da tecnologia.

Além disso, há um indicativo de que os raios foram fundamentais para a origem e manutenção da vida no planeta Terra. Acredita-se hoje que os raios presentes na Terra, quando da atmosfera primitiva, foram fundamentais para a formação das primeiras moléculas orgânicas e das primeiras formas de vida. Também hoje é aceito que os raios são a principal fonte de nitritos e nitratos, essenciais para a vida das plantas, pois os vegetais são incapazes de utilizar diretamente nitrogênio atmosférico, de forma que estes

precisam ser transformados em outros compostos nitrogenados. Os raios seriam os responsáveis por tais reações químicas, mantendo, assim, o ciclo do nitrogênio.

Ainda no desenvolvimento histórico da natureza, possivelmente os incêndios florestais provocados a partir dos raios favoreceram o processo de desenvolvimento e adaptação das plantas, consumindo as plantas mortas e folhas secas, eliminando pragas e proporcionando variabilidade genética, favorecendo a seleção natural e fortalecendo algumas bases nitrogenadas de alguns seres vivos responsáveis pela sobrevivência diante de tais acontecimentos.

Talvez por apresentar um caráter contraditório na perspectiva humana, trazendo fogo do céu ao passo que também provocava morte e destruição, além de som e luz em escala fora da normalidade para os padrões humanos primevos; os raios foram incorporados à tradição mística e religiosa antiga num possível desejo de domesticar os seus efeitos perniciosos, quando não apenas para minimizá-los, conformando-os ao universo cultural de uma dada civilização. Essa tradição possuía um jogo complexo de nuances, sendo que um deles era o caráter antropomórfico das divindades. Em diversas civilizações antigas há figuras de divindades antropomórficas que detinham o poder de controlar e arremessar raios. Como a deusa indiana Indra, a filha do Paraíso e da Terra, que carregava os raios no seu ventre; o deus egípcio Tifão que arremessava raios na Terra, o deus grego Zeus com sua fúria emanando raios em todas as direções, o deus escandinavo Thor que produzia raios com seu martelo, a mitologia dos povos nativos do continente americano também atribuía um caráter divino e fantástico ao fenômeno do raio.

Encontra-se em Aristóteles um dos mais antigos registros de uma explicação diferente daquelas expostas acima. Para ele, o trovão seria provocado por uma colisão entre nuvens e o raio seria um incêndio de uma exalação ejetada pelas nuvens. Essa explicação está inserida numa inflexão no pensamento da Antiguidade Clássica, onde as explicações de cunho exclusivamente fantástico perdem força em detrimento das explicações onde são mesclados elementos racionalistas com uma gama de outros elementos, incluindo também a imaginação, a criatividade, a fantasia e a mitologia como elementos indistintos de elaboração de explicações acerca da natureza.

Também em Aristóteles há referências a Tales de Mileto como o observador de um comportamento atrativo apresentado por uma resina vegetal quando esta era atritada em um outro corpo. O registro da observação desse fenômeno também aparece no diálogo **Timeu** de Platão (aproximadamente 428-348 a.C.). Platão rejeita a ideia de que exista uma atração real entre a resina atritada e os corpos leves próximos a ele, explicando o

fenômeno com base nos princípios da respiração animal, que para ele acontecia devido a não existência de espaço vazio na natureza (ASSIS, 2018).

Estudos arqueológicos indicam que âmbar já era conhecido de diversas culturas bem anteriores a antiguidade clássica grega, logo muitos séculos antes de Platão e mesmo de Tales. Nessas civilizações o âmbar era usado como ornamentos em joias e em outros utensílios. É provável que muitas pessoas que trabalhavam com âmbar, comercializavam ou que simplesmente o manipulavam, tivessem observado bem antes de Platão e de Tales que ele tinha a propriedade de atrair corpos leves ao ser atritado, embora não existam relatos históricos comprovando esta suposição.

Deixando de lado uma rica discussão acerca do longo processo de gestação e elaboração do processo de humanização manifestado na materialidade da cultura não ponderamos, senão ao passante, o doloroso processo de longa duração de descoberta da alimentação, das vestimentas capazes de proteger corpo seja do frio, seja de outras intempéries naturais, o longo processo de sedentarização de grupos humanos com o desenvolvimento da agricultura, o desenvolvimento de símbolos gráficos ou vocálicos com os quais fora possível a comunicação social e espiritual. Citamos nesse parágrafo um intervalo temporal imensurável na escala humana para nos lembrar que o ponto de partida da tradição historiográfica em História da Ciência é um ontem na história da humanidade.

Assim no interstício entre o aparecimento fenomenológico do raio na primeira atmosfera do Planeta Terra ainda em formação, da constituição da natureza da qual o ser humano emergiu, até o aparecimento dos primeiros registros dos fenômenos atrativos em corpos atritados ou dos fenômenos de atração e repulsão em ímãs naturais; há um grande lapso temporal no qual diversos fenômenos hoje tidos como fenômenos elétricos aconteciam e possivelmente eram observados como eventos não ordinários, não pertencentes ao cotidiano.

Partindo do bom senso e do conhecimento atual disponível sobre as propriedades dos metais, sabemos que muito antes da possibilidade do homem ser capaz de produzir e conservar seus registros escritos – as fontes documentais privilegiadas dos historiadores até a primeira metade do século passado –, ele já se projetava nos mais variados elementos materiais e imateriais de sua cultura. Nesse sentido, todo e qualquer indício de humano num dado espaço é passível de problematização temporal.

É nesse contexto de longa duração que podemos inferir que quando do domínio dos metais, quando a humanidade passou a extrair metais, desenvolvendo técnicas de mineração, trabalhando os metais, forjando-os, elaborando técnicas de fundição,

experimentando ligas metálicas; quando da emergência dessa nova realidade indubitavelmente os fenômenos de atração de corpos atritados se tornaram parte do cotidiano de um dado segmento social e gradativamente, de modo proporcional ao uso cultural dos metais em algumas civilizações tais processos passaram a ocorrer para um número cada vez maior de expectadores.

Nesse momento colocar-nos-emos na encruzilhada tênue do fenômeno observado e do esforço do registro da observação. Por que o movimento nesta direção? O que os distanciam? Que fatores ou elementos favoreceram ou possibilitaram o registro do que foi observado? A observação foi efetuada de modo espontâneo e desprezioso? Será que os registros disponíveis acerca da observação dos fenômenos de atração de entre corpos atritados foram os únicos realizados, ou somente eles foram conservados até os nossos dias? Por que tais documentos se apresentam desse modo e não de outra forma?

Estamos conscientes que não temos nem os documentos e nem ferramentas adequadas disponíveis para atacar os diversos problemas elencados, porém o início de toda e qualquer atividade investigativa se dá pela colocação do problema e pelo reconhecimento de sua relevância. Feito isso podemos nos abrir para as possibilidades interpretativas, para o preenchimento de lacunas e mesmo para reorientar o olhar diante de documentos supostamente já de todo elucidados, sendo então preciso revisita-los infinitamente.

### 3.1.1 Tales de Mileto, outros antigos e medievais: uma história de longa duração

Tales, que fundou a escola de filosofia da Jônia na qual Sócrates estudou, viveu por volta do século VII a. C., nas proximidades do ano 625 a. C., em Mileto<sup>38</sup>, atual Turquia, na Ásia Menor. O que se sabe acerca de Tales de Mileto é muito pouco, são apenas fragmentos de informações contidas nos escritos de alguns de seus contemporâneos, principalmente nos registros de Aristóteles. vez que não deixou nada escrito, ou seus escritos não se conservaram por razões até então desconhecidas.

Nesse tempo, a Grécia, um conjunto de cidades-estados autônomas, devido a sua grande força econômica, política e militar, dominava a região mediterrânea. Mileto, uma dessas cidades-estados, possuía uma intensa atividade marítima e comercial, era uma

---

<sup>38</sup> Mileto estava situada na região da Jônia (Íonia), que comportava cerca de doze cidades principais: Samos, Quios, Mileto, Éfeso, Colofão, Miunte, Priente, Lêbedo, Teos, Clazômenes, Éritras e Fócia

cidade portuária e cosmopolita, recebendo um grande fluxo de pessoas, com diversas culturas, atraindo pensadores, filósofos, artesãos, poetas, comerciantes, dramaturgos (MEYER, 1972). Ora, as trocas comerciais eram também trocas culturais, uma espécie de integração do espaço e das culturas mediados pelas interações comerciais (BRAUDEL, 1988).

É nesse ambiente de efervescência cultural que se possibilitou uma grande inovação no pensamento antigo, onde alguns pensadores identificam como sendo a origem da atitude filosófica ocidental. Nesse contexto, surgem as primeiras tentativas de explicações para a origem e composição do mundo que não são exclusivamente pautadas no conhecimento religioso. É nesse contexto que surgem elaborações explicativas a partir dos elementos terra, fogo, água e o ar; de modo que em um momento posterior foram elaboradas explicações da composição do mundo que combinavam esses quatro elementos.

O nome de Tales de Mileto está associado com alguns conhecimentos na área da geometria plana, da astronomia, dos processos de eletrização, astronomia e meteorologia. Na Filosofia, Tales defendia que a água era o elemento principal e fundador do mundo. Além disso, elaborou diversos conhecimentos filosóficos e teve diversos discípulos.

Numa história que se perde no tempo e no espaço, na Antiguidade já se observava propriedades atrativas de objetos e artefatos confeccionados com âmbar quando estes sofriam quaisquer atritos superficiais. O âmbar é uma resina vegetal fossilizada, proveniente de uma espécie de pinheiro do período terciário<sup>39</sup> extinta a milhares de anos, sólida, amarelo-pálida, utilizada na fabricação de vários objetos. Considerando a longa duração do desenvolvimento experiência humana e de acordo com o trabalho de arqueólogos, possivelmente conhecimento dessa resina vegetal, o âmbar, e de suas propriedades atrativas quando atritada era conhecida a muito tempo de modo que não é possível datá-los (ASSIS, 2018). Assim, após o desenvolvimento da escrita e por motivos relacionados ao desenvolvimento do pensamento filosófico grego, alguns pensadores da antiguidade se dispuseram a documentar por escrito as observações das propriedades atrativas do âmbar.

---

<sup>39</sup> O **terciário** é uma unidade de tempo utilizado para demarcar um período específico de desenvolvimento da Terra e da vida nela contida, esse tempo vai de 65 milhões até 2,6 milhões de anos atrás. (SANTIAGO, c2006)

É provável que na atividade tecelã alguns objetos feitos de âmbar interagiam superficialmente por fricção com em lã de ovelha ou pelo de gato e depois disso adquiriam a capacidade de atrair objetos de pequenas dimensões e pouco massivos como de palha seca ou corpos similares. O mesmo poderia ocorrer com os carretéis, que possivelmente eram confeccionados com âmbar também, utilizados para enrolar os fios de lã ou algodão. Após o constante atrito do carretel com os fios, eles passavam a atrair outros pedaços de fios ou mesmo a eriçar o pelo dos braços dos tecelões.

Os primeiros registros escritos acerca das propriedades atrativas do âmbar se encontram em textos produzidos na Grécia entre os séculos VII e IV e fazem referência às elaborações conceituais de Tales de Mileto. Também são encontrados registros escritos de observações acerca do comportamento do âmbar realizadas por diversos outros gregos como Teofrastus, no século III a. C. (MEYER, 1972) (LAUE, 1950) (CAJORI, 1962), de modo que podemos acreditar que os conhecimentos relatados por Tales, gradativamente, depois do século VI a. C. passaram a fazer parte do saber ordinário de qualquer pensador grego desse tempo.

No século I d. C., Roma então adquirira o domínio do Mediterrâneo, tal como a Grécia nos séculos passados e outras civilizações da Antiguidade, de modo que o universo romano também possibilitou trocas culturais e o fortalecimento do pensamento filosófico então característico do conhecimento grego. Assim os romanos também documentaram os movimentos atrativos dos corpos quando estes eram atritados no âmbar e também escreveram sobre as propriedades atrativas de um minério conhecido como magnetita.

O naturalista romano Plínio (23-27 d. C.), no seu livro **História Natural** faz referência diversas vezes ao poder atrativo do âmbar. Além disso, documenta que em algumas construções antigas já se colocavam hastes metálicas no ponto mais alto da edificação com o intuito de protege-las de raios. (MEYER, 1972), já evidenciando um conhecimento prático eficaz acerca da evitabilidade de danos materiais ou biológicos oriundos dos raios.

A correlação entre o início dos registros dos fenômenos atrativos de corpos atritados e a cosmovisão antiga dos gregos e romanos é tão forte que o termo eletricidade é oriunda do primitivo elétron e esse por sua vez está associado ao termo grego ηλεκτρονίου (“ilektroníou”) que possui um significado ou uma tradução literal como sendo âmbar. Então, o termo que designa a teoria, por si mesmo, já é uma estrutura de longa duração vez que foi cunhado no século VII a. C. e persiste até hoje sem apresentar quaisquer sinais de enfraquecimento ou de tendência ao desuso.

A permanência de um termo por mais de 2700 anos não é uma exclusividade dos termos e conceitos com os quais a Física opera, mas sim do conhecimento ocidental encarado como um sistema único e pode evidenciar o movimento de ressignificação do termo, a dinâmica do conceito, a história da constituição e modificação das ideias. Ora, é evidente que existe uma grande distância entre o significado termo elétron e o mesmo significante presente nos escritos do passado longínquo.

É de se esperar que os termos elétrico, eletricidade e elétron sofressem profundas alterações nos seus significados de modo que os termos que aparecem em escritos do século VII a. C. possuem significados distintos dos termos presentes nos escritos dos séculos XV, XVI, XVII, XVIII e XIX. E não só isso, como também são diferentes os significados dos termos ao longo dos séculos relacionados ao universo moderno e contemporâneo, vez que com o avanço dos anos, diversas experiências humanas relacionadas à eletricidade foram sendo incorporadas ao saber ordinário, formas de pensar inéditas se constituíram, elementos materiais foram confeccionados única e exclusivamente para se estudar a eletricidade, os conhecimentos foram se sofisticando e se afastando da experiência imediata, ganhando uma abstração de alto poder de síntese e o rigor da linguagem matemática.

No imaginário do conhecimento antigo era inconcebível a produção de movimentos, tidos aqui como a mudança de posição em função de um tempo, sem uma causa material extensa, palpável e visível, de modo que os fenômenos relacionados tanto ao âmbar quanto à magnetita, embora fazendo parte do cotidiano da produção material, tinham um caráter mágico e produziam fascínio e encantamento em que os observava. Assim por esse seu caráter excepcional, foram atribuídas propriedades terapêuticas e medicinais tanto ao âmbar (ROCHA, 2002) quanto à magnetita (MEYER, 1972) (LAUE, 1950) (CAJORI, 1962).

Sob uma ótica moderna de História, tal elemento mágico e medicinal poderia auxiliar na explicação ou na justificação do registro escrito, a partir do século VII a. C., dos fenômenos já relatados. Para corroborar tal afirmativa basta ver o interesse intelectual dos compiladores dos saberes acerca da eletricidade e do magnetismo, tanto no período medieval e moderno, na medicina.

Da antiguidade ao século XV, um grande intervalo temporal, sabia-se enquanto o âmbar possuía propriedades atrativas quando atritado com outro corpo, a magnetita, possuía propriedades atrativas quando interagia com alguns corpos metálicos e, quando interagia com outra magnetita, além da propriedade atrativa, também apresentava a

propriedade repulsiva. Além dessa diferença fundamental entre a magnetita e o âmbar, também foi identificada outra diferença fundamental relativa à transitoriedade e perenidade das propriedades atrativas.

Enquanto o âmbar apresentava propriedades transitórias, ativadas quando do atrito superficial e que logo desapareciam, as propriedades da magnetita eram intrínsecas, não desapareciam com o tempo. Tal fato tornava relativamente fácil o estudo dos fenômenos magnéticos ao passo que dificultavam o estudo dos fenômenos elétricos. Entretanto de um modo ou de outro os estudos desses fenômenos possuem uma forte correlação, seja por semelhança seja por simpatia.

Devido a essa diferença entre transitoriedade e perenidade, do século XI ao século XV temos um relativo desenvolvimento da teoria dos imãs, culminando com o uso da bússola em escala comercial, enquanto o efeito âmbar continuava sem quaisquer utilidades práticas e o estudo deste estava limitado na catalogação dos materiais que apresentavam o comportamento atrativo.

Para compreendermos os eventos que culminaram com a elaboração dos dispositivos voltados exclusivamente para o estudo dos fenômenos elétricos é fundamental compreender os acontecimentos que levaram à compilação dos conhecimentos relativos ao magnetismo e ao desenvolvimento da bússola magnética. É o que vamos fazer no próximo tópico.

### 3.1.2 Da bússola magnética ao trabalho de compilação de saberes

Assim como os fenômenos do raio, relâmpago e do trovão, como os fenômenos atrativos de corpos eletrizados; os poderes atrativos da magnetita foram observados em um tempo sem data, possivelmente quando da inauguração da atividade mineradora. Com a mineração, o ser humano a partir de critérios específicos passou a separar alguns minérios tidos como valiosos por apresentar uma ou mais propriedades que os diferenciava das demais rochas. É uma espécie de senso comum entre arqueólogos e outros estudiosos das humanidades pré-escrita que as técnicas de fundição foram desenvolvidas a cerca de 5000 a. C., logo a atividade mineradora é bem posterior a esse tempo.

Sem sombra de dúvidas da seleção desses minérios ao desenvolvimento de técnicas de fundição, de forja, de talha transcorreu um grande intervalo de tempo de modo que podemos classificar por si mesma a atividade mineradora como uma estrutura de



longa duração. Nessa atividade, possivelmente o ser humano vez ou outra se viu em contato com a magnetita, de modo que muito antes da escrita, as propriedades atrativas e repulsivas da magnetita eram conhecidas de alguns grupos laborais.

Os primeiros registros escritos sobre a magnetita também se encontram nos textos gregos antigos, assim como os registros acerca da atividade atrativa do âmbar quando atritado. Tal qual estes, aqueles foram transmitidos através das trocas culturais e da preservação temporal de alguns documentos de modo a atravessar os séculos, alimentando o conhecimento escolástico medieval.

É no século XIII que concentraremos nosso esforço narrativo com o intuito de perseguir dois fenômenos distintos, porém paralelos e correlacionados a saber: o desenvolvimento e uso comercial em larga escala da bússola magnética e a atividade de compilação ou pelo menos de citação dos conhecimentos acerca do magnetismo, realizado por diversos intelectuais desse tempo.

De Plínio no século I d. C. até o século XIII, diversos intelectuais tomavam nota em seus escritos tanto da atração devido o âmbar quanto das propriedades da magnetita. Dentre estes intelectuais temos Santo Agostinho que, no século IV d. C., escreve sobre o poder da magnetita, que é capaz de fazer movimentar um pedaço de ferro colocado sobre uma placa de prata, quando o ímã é colocado na parte inferior da placa (MEYER, 1972).

Do século VII a.C. ao século XIII d.C., temos um conhecimento acerca dos fenômenos ora em tela relativamente estável, quase imóvel, que pode ser identificado com as estruturas braudelianas de longa duração. Para muitos pesquisadores esta estabilidade, essa imobilidade pode ser interpretada de modo negativo quando este tempo é comparado com os velozes séculos XVI, XVII e XVIII. Entretanto esse grande intervalo temporal precisa ser encarado a partir da permanência desse saber, quase inalterado, como um elemento que gradativamente adere às estruturas mentais, uma conquista da racionalidade, uma teoria que municia a percepção.

No século XIII, estavam presentes diversos elementos do que veio a constituir a ciência moderna. Diversos pesquisadores já manifestavam o desejo de realizar experiências com o intuito de reproduzir um dado fenômeno. Também nesse tempo temos o início da renovação do saber médico apontando para uma nova forma de se conhecer.

Dentre esses experimentadores temos Petrus Peregrinus, ou Pierre de Maricourt, um dos professores de Roger Bacon. Peregrinus fez diversos experimentos em magnetismo, sendo que alguns destes experimentos estão detalhados em suas cartas para Sigerus de Faoucancourt. Na produção intelectual de Peregrinus é possível encontrar

orientações para a construção de bússolas flutuantes e de bússolas articuladas usando uma agulha de aço. Peregrinus e outros pesquisadores do século XIII já especulavam com a possibilidade de ser ter veículos movidos por magnetismo.

O uso náutico da bússola pelo universo ocidental parece datar do século XI. Por volta do ano 1269 a marinha italiana já usava a bússola flutuante, mas a bússola magnética foi o primeiro dispositivo de uso prático oriundo do magnetismo. Dispositivo de uso logo generalizado, o que levou a diversas tentativas de explicações para os fenômenos magnéticos.

Até o século XVII, haviam poucos conhecimentos acerca da eletricidade e do magnetismo, tidos então como fenômenos distintos, tal como aparece em registros de 1550, na Itália, no livro **De Subtilitate** de Girolamo Cardano (ROCHA, 2002). que produziu uma das diversas compilações dos conhecimentos disponíveis sobre o âmbar e o imã.

O livro **De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure; Physiologia Nouc, Piuribus et Argumentes et Experimentis Demonstrata (Sobre os Imãs e Corpos Magnéticos e sobre o Grande Imã, a Terra Nova Fisiologia, Provas e argumentos de experiências comprovadas)**, publicado, na Inglaterra, no ano de 1660 por William Gilbert, além de produzir uma síntese dos conhecimentos disponíveis acerca do magnetismo e do âmbar propõe formas novas e originais de pensar os problemas relacionados aos objetos em questão, além de propor tanto terminologias específicas quanto elaborações explicativas fundamentadas na experimentação. Ele inaugura as pesquisas modernas sobre o magnetismo e sobre a eletricidade.

William Gilbert (1544-1663), médico real inglês, além de dominar os estudos relacionados à medicina de então, tinha objetos de estudo típicos da filosofia natural da tradição greco-romana. O seu livro é fruto de cerca de 17 anos de trabalhos e estudos (MEYER, 1972) (LAUE, 1950) (CAJORI, 1962), além de diferenciar os fenômenos relacionados ao âmbar dos fenômenos relacionados à magnetita, fato já mencionado na antiguidade grega (ASSIS, 2018), compila experimentos e informações sobre os fenômenos de atração do âmbar observados, no passado e no presente do tempo da publicação, apresentando uma catalogação dos materiais que apresentavam características elétricas e que interagem com o âmbar (MORAIS, 2014). Os conhecimentos sintetizados no livro de Gilbert permitiram também melhoramentos nos instrumentos de navegação (MEYER, 1972) (LAUE, 1950) (CAJORI, 1962).

Um aspecto original que aparece no livro de Gilbert é a proposta da ideia de que o planeta Terra tem propriedades semelhantes à de um grande ímã, simplificando e tornando mais coerente a explicação do funcionamento da bússola. Antes dessa ideia o comportamento da bússola era explicado a partir do alinhamento de uma das extremidades do ímã com os polos da esfera celeste (ASSIS, 2018).

Como tentativa de explicação para o fenômeno da atração dos corpos admitia que quando atritados, eles emitiam o *effluvium*, que seria uma substância material liberada pelo calor devido a fricção e que atraía os corpos vizinhos. Ainda no século XVI era comum a ideia de que havia uma conexão material entre dois ou mais corpos que interagiam. A ideia do eflúvio remonta à antiguidade clássica grega e persistia ainda, por muito tempo, no pensamento ocidental europeu moderno. (ROCHA, 2002)

Para alguns autores, o livro de Gilbert esvazia as superstições do passado acerca da eletricidade e do magnetismo e lança as bases firmes da teoria, que é a experimentação objetiva (MEYER, 1972). Entretanto não seria uma tarefa por demais complexa e de longa duração de gestação para ser tomada sozinha por apenas um livro? Algumas construções historiográficas comuns no século passado ao concentrar esforços apenas na perspectiva internalista apresenta a fragilidade de não ponderar os eventos laterais que de um modo ou de outro dialogam com o movimento de uma dada ideia, vez que considerando as características internas do sistema de ideias torna-se por demais difícil encontrar indícios desses diálogos, embora eles estejam presentes.

Gilbert considerou a Terra como um ímã enorme e a partir daí explicou o comportamento da bússola. Além disso propôs muitas ideias sobre o campo magnético, indução magnética, polaridade, e os efeitos da temperatura em ímãs. Em suas pesquisas em eletricidade, ele encontrou uma longa lista de materiais passíveis de atraírem outros quando eletrizados (MEYER, 1972).

No texto já aparecia a palavra elétron com referência ao âmbar, o qual foi consolidada pelo uso. Diversos autores admitem que com William Gilbert iniciam-se as pesquisas modernas sobre eletricidade. Gilbert atribuiu a qualidade de elétricos aos corpos que manifestavam comportamento de atrair outros corpos quando atritados e de não elétricos para corpos que não apresentam tal característica.

Ambiguidades no que se refere à palavra elétrico, alguns textos fazem referência a Gilbert outros a Thomas Browne (1605-1682), usou o termo em 1646 em um trabalho impresso. E um mesmo texto faz referência aos dois em contextos diferenciados (ASSIS, 2018). Como ler historiograficamente essas ambiguidades? A que devemos ela?

O desenvolvimento de novas teorias elétricas e magnéticas depois de Gilbert foi lento (uma característica do tempo de longa duração no ato de conhecimento científico), porém com uma velocidade superior à dos movimentos observados tanto na Antiguidade Clássica quanto no período medieval. Se antes uma mudança na forma de pensar os movimentos de atração em corpos atritados no âmbar só eram documentadas em intervalos de tempos milenares, elas foram aceleradas a partir dos dispositivos criados única e exclusivamente para estudar tais movimentos, a saber o versório e o perpendicular. Não só isso, mas o trabalho dos compiladores de dados acerca dos materiais que apresentavam as propriedades atrativas quando atritados, o trabalho de filósofos naturais que elaboravam representações explicativas dos fenômenos estudados e o trabalho dos filósofos experimentais que tanto colaboraram para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos instrumentos utilizados nos estudos experimentais fomentaram e enriqueceram as representações explicativas. Esses três elementos – compilação de saberes, dispositivos materiais e melhoramentos técnicos – formam uma totalidade coesa e indissociável que caracteriza estruturalmente a atividade de pesquisa e de elaboração da teoria da eletricidade e dos processos de eletrização.

### 3.1.3 Os antecedentes da máquina elétrica: o perpendicular e o versório

Devido a seu caráter permanente, as propriedades da magnetita foram mais fáceis de serem estudadas até o século XVI, porém até o século XIX, os esforços que antes estavam concentrados no magnetismo foram deslocados para os estudos em eletricidade. Tais estudos inicialmente foram concentrados na catalogação dos materiais que apresentavam propriedades atrativas quando atritados - construção da série triboelétrica -, no diagnóstico da presença ou ausência da propriedade atrativa, na produção e controle da propriedade atrativa.

Até o século XVII textos científicos relatam as aventuras e desventuras nos processos de construções de experimentos elétricos, mas mesmo assim a produção do saber nesse campo do conhecimento, embora usando a experimentação, se propunha a uma produção qualitativa em contraposição à matematização que caracterizava a mecânica clássica. Entretanto, na segunda metade do século XVII ocorre uma mudança conceitual e uma mudança nas práticas experimentais e na explicação dos fenômenos até então abarcados pela teoria dos processos de eletrização por atrito. Por que isso aconteceu? Uma possível resposta a esse questionamento pode estar na catalogação de

uma grande classe de materiais passíveis de serem eletrizados por atrito, tarefa essa realizada por um conjunto de sujeitos tais como Girolamo Cardano (ROCHA, 2002), Gilbert.

Os conhecimentos sobre eletricidade e magnetismo eram mais descritivos que explicativos: descreviam alguns fenômenos e poucas vezes arriscavam uma explicação e quando o faziam mesclavam elementos da racionalidade mecânica newtoniana ladeada com elementos da racionalidade característica da antiguidade ou do período medieval como algumas referências às ideias dos quatro elementos essenciais e a explicação da dinâmica do universo a partir da teoria dos humores (ASSIS, 2018).

Foi somente a partir do século XVI que a humanidade conseguiu elaborar instrumentos voltados única e exclusivamente para o estudo dos fenômenos de atração de corpos atritados, a essa altura, os corpos que apresentavam essa propriedade eram adjetivados de elétricos. Os instrumentos a que nos referimos é o perpendicular e o versório. Artefatos extremamente simples, de fácil construção, altamente sensíveis e de fácil manipulação e por isso possível e adequado às condições materiais da época.

A partir desses instrumentos simples, gradativamente foram construídos instrumentos mais elaborados coerentes com a gradativa complexificação da teoria da eletricidade. As construções mentais explicativas foram acompanhadas de perto pelas elaborações materiais voltadas para o estudo dos fenômenos elétricos.

O perpendicular é um artefato extremamente simples, composto de uma linha vertical presa na extremidade superior de um suporte fixo e tendo em sua extremidade inferior um corpo qualquer (passível de interações de atração e repulsão), é parecido com um fio de prumo ou um pêndulo elétrico (ASSIS, 2018). Um dos registros escrito desse dispositivo foi encontrado na Itália, em um texto datado de 1543 e atribuído a Girolamo Fracastoro<sup>40</sup> (1478-1553).

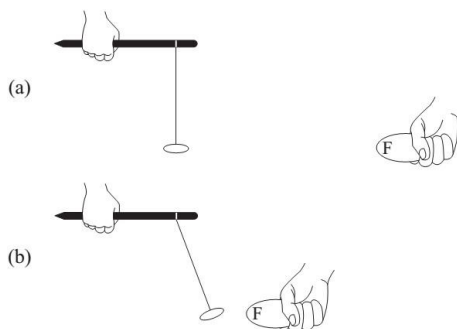
O perpendicular é o instrumento elétrico construído pelo homem mais antigo do qual se tem registro e sua confecção possibilitou uma profunda alteração na concepção humana acerca dos fenômenos elétricos uma vez que permite uma mediação com instrumentos materiais capazes de alterar as estruturas psíquicas dos sujeitos que manipularam tal instrumento. Além disso, permitiu também excluir o âmbar como

---

<sup>40</sup> Além de do estudo dos fenômenos atrativos produzidos quando do atrito de um corpo com outro, Fracastoro realizou diversas pesquisas relacionadas a epidemiologia e doenças venéreas, sendo historicamente conhecidas por essa atividade, onde propôs a teoria do contágio e os conhecimentos relacionados à sífilis (FERREIRA, 2008)

material responsável pelo fenômeno atrativo e permitiu também observar e quantificar algumas grandezas físicas relacionadas a esse movimento atrativo. Embora essa quantificação tenha ocorrido pelo menos dois séculos depois, a possibilidade de quantificação já estava sendo gestada pela confecção desses instrumentos.

**Figura 1** Representação esquemática do perpendicular de Fracastoro



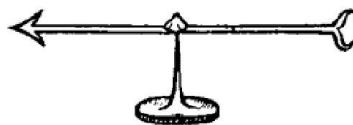
Fonte: (ASSIS, 2018, p. 37)

(a) Um corpo com uma região F é aproximado da extremidade inferior do perpendicular, onde há um outro corpo de massa extremamente pequena. Quando o corpo está afastado do perpendicular, o fio fica na vertical. (b) Quando o corpo é aproximado do perpendicular, o fio é deslocado de sua posição de equilíbrio, sendo que quanto maior a interação maior será o deslocamento

Enquanto o perpendicular é o instrumento mais simples construído com o intuito de se estudar os fenômenos atrativos em corpos atritados, o versório, do latim *versorium*, que remete à ideia de instrumento girante, é um instrumento um pouco mais complexo. Consiste de duas partes articuladas: um suporte fixo vertical no qual uma haste horizontal é sustentada, de modo que seja capaz de girar livremente em relação ao eixo vertical. O sistema de funcionamento do versório é similar a uma bússola magnética. Enquanto o perpendicular possui grande sensibilidade para diagnosticar a presença de poder atrativo em corpos atritados, o versório consegue ampliar as possibilidades vez que opera a partir do que hoje conhecemos como torques (ASSIS, 2018), facilitando diversas operações de medições e de análises dos fenômenos de interesse.

Os registros escritos do versório mais antigos são encontrados na obra de Gilbert, datada de 1600. Nas discussões que gravitavam em torno do versório, o autor mantém um intenso diálogo com a obra de Fracastoro, além de extrapolar uma série de considerações, de estabelecer idealizações, terminologias, aproximações que foram extremamente importantes por produzir um terreno sedimentado no qual as futuras pesquisas se embasaram.

**Figura 2** Representação do Versório de Gilbert



Fonte: (ASSIS, 2018, p. 38)

Na ausência de corpos com eletricidade o dispositivo aponta em uma direção qualquer. Ao aproximar um corpo previamente atritado no âmbar, o versório tende a girar buscando alinhar-se com o corpo que fora aproximado.

Nos documentos disponíveis para a comunidade científica interessada na história da eletricidade, não são encontradas quaisquer menções a atividades de estudos e pesquisas com o versório antes do século XVII, o que permite afirmar que possivelmente há um lapso temporal considerável entre o registro escrito do uso do perpendicular e registro escrito do uso do versório. Nesse aspecto, tomando como ferramenta de análise as estruturas de longa, média e curta duração, podemos dizer que nesse aspecto há uma manifestação de uma característica do conhecimento que veio a constituir a Física como sendo um elemento estrutural de longa duração, onde as mudanças são lentas, dando a leve impressão que essa estrutura estável seria estática, imóvel.

Partindo do pressuposto que uma ideia não existe sem um sujeito que a pense, podemos afirmar que nenhuma ideia é estática, imóvel, antes possui um movimento que mantém um diálogo com o movimento do sujeito no espaço e no tempo, e o desafio do historiador da ciência é captar as ideias em seu movimento, apresentar fotografias, cenas e quadros, o instantâneo da captação. Feito isso, pode-se questionar as ditas verdades universais científicas, vez que se desnuda os contextos de elaborações desses universais, as suas modificações e o modo como eles se apresentam no tempo do agora de modo a-histórico, intemporal, objetivo, rejeitando todo e qualquer questionamento.

Outra possibilidade de conclusão que a análise fornece é que a interação da comunidade letrada europeia do século XVI com o instrumento perpendicular produziu profundas alterações nas estruturas mentais dessa comunidade, sendo que aproximadamente cinquenta anos de pesquisas e estudos com tal instrumento exauriu as possibilidades de problematização de modo que patrocinou a possibilidade de elaboração do versório. Assim podemos dizer que o versório é filho do perpendicular, que a interação

dos sujeitos com este produziu modificações no psiquismo destes sujeitos e permitiu uma maturação das ideias ativadas na produção daquele.

Devido a simplicidade de construção e de manipulação, a reprodutibilidade desses dispositivos possibilitou que um corpo coletivo considerável interagisse com eles de modo que dessa interação e a partir das experiências de vida inerentes a cada sujeito conhecedor fora possível a elaboração de uma gama heterogênea e considerável de conhecimentos acerca da eletricidade. Esses conhecimentos permitiram a construção de diversas variações desses dois instrumentos, amadurecendo algumas ideias e possibilitando a complexificação dos dispositivos bem como a construção de novos dispositivos capazes dar conta de novas problematizações. Tal fato provocou uma aceleração do devir da pesquisa em eletricidade que veio a culminar com o estabelecimento da ideia de elétron e sua consolidação empírica a partir da prática experimental da levitação da gota de óleo realizada por Milikan no século XX.

Desses dispositivos elétricos, a máquina elétrica representa uma inovação sem precedentes vez que reúne em um único dispositivo o corpo a ser atritado e o mecanismo de produção do atrito. Tanto no versório quando no perpendicular há três momentos distintos: o primeiro momento no qual temos que por empreendimento exclusivamente humano temos que produzir interações superficiais por fricção de um corpo A qualquer com outro corpo B qualquer para que em um segundo momento aproximar o corpo A de um terceiro corpo C e em seguida constatar a aproximação do corpo C em relação ao corpo A. Na máquina elétrica há uma considerável redução do esforço muscular e uma produção de eletricidade em ordem de grandeza até então desconhecida.

#### 3.1.4 A máquina elétrica e a aceleração dos estudos dos fenômenos atrativos em corpos atritados

Assim como o versório e o perpendicular a máquina elétrica foi um dispositivo criado única e exclusivamente para o estudo experimental da eletricidade. Esta máquina produz uma grande aceleração nas pesquisas em eletricidade por conseguir, mas não armazenar, eletricidade em escala até então desconhecida, de modo a produzir faíscas elétricas e o movimento atrativo de corpos relativamente massivos.

A máquina era constituída de uma bola de enxofre moldada em um globo de vidro, suspensa e fixada em um eixo que passava por seu centro. A bola de enxofre entrava em rotação quando uma manivela colocada numa extremidade do eixo era girada. A bola de



enxofre girante era posta em contato superficial com alguns materiais e depois de um intervalo de tempo tanto a bola de enxofre quanto o material apresentavam propriedades atrativas.

Encontramos os primeiros registros escritos da máquina elétrica no livro *Novas Experiências (assim chamadas) de Magdeburgo sobre o Espaço Vazio*, publicado por Otto von Guericke (1602-1686) em 1672, mas que segundo o prefácio da obra terminado em 1663.

**Figura 3** Representação da máquina elétrica e da repulsão elétrica



Fonte: (QUEIROZ, 1999) Disponível em <https://www.coe.ufrj.br/~acmq/eletrostatica.html> acessado em 04.10.2019

Representação da máquina elétrica, na região direita do desenho (tomando o leitor como referencial) e à esquerda uma representação de Von Guericke fazendo uma pena levitar sob o efeito da eletricidade em decorrência de uma esfera de enxofre previamente atritada

No livro de Guericke, além dos fenômenos de atração, conhecidos por milênios, já consta a referência à propriedade de repulsão apresentada por alguns objetos leves, como penas de aves, quando estes sofriam algum atrito superficial. Essa propriedade foi a que tornou possível a levitação da pluma, na experiência representada na figura 3. Mesmo possibilitando o experimento, a propriedade repulsiva não foi considerada por Guericke como sendo um fenômeno intrinsecamente elétrico. Antes ele atribuiu essa propriedade ao comportamento do globo que estava nas suas mãos, sendo que para o autor, a Terra também em algumas circunstâncias demonstrava também essa propriedade repulsiva (ASSIS, 2018). Guericke deixa transparecer nos seus textos que sua bola de enxofre seria uma espécie de Terra em miniatura e que os fenômenos que observara seriam os mesmos que prendiam os corpos à superfície terrestre (MEYER, 1972).

Elemento importante a ser observado é que desde a tradição da antiguidade clássica até os escritos do século XVIII, portanto em grande intervalo de tempo, não havia quaisquer referências aos fenômenos repulsivos de natureza elétrica. A ausência de documentos acerca da repulsão pode indicar que tanto na cosmovisão antiga quanto na

cosmovisão medieval o animismo natural não tinha condições de sequer conceber tais movimentos repulsivos. Já era por demais complicado explicar os movimentos atrativos, exigindo complexas especulações filosóficas acerca da teoria dos humores, da composição do mundo, do zodíaco, da esfera celeste e outras especulações filosóficas extremamente ricas de conteúdos simbólicos.

Ponderando o realismo materialista com o qual o físico lida na construção de seus objetos de estudo, podemos aceitar que assim como os fenômenos atrativos possuem uma longa história sem data de gênese, também os fenômenos de repulsão possuem uma história de longa duração, mesmo o ser humano sendo insensível à manifestação desses fenômenos. Possivelmente com a disponibilidade de dispositivos materiais voltados única e exclusivamente para o estudo dos fenômenos elétricos como o pêndulo, o versório e agora a máquina elétrica de fricção, o ser humano passou a interagir com mais frequência e intensidade com os fenômenos elétricos, tornando possível experimentar os fenômenos repulsivos.

Foi preciso uma lenta e profunda alteração no psiquismo dos sujeitos para eles perceberem a existência dos fenômenos repulsivos. Essa alteração teve a colaboração tanto das construções teóricas e conceituais já desenvolvidas quanto a colaboração das ideias e os conceitos possibilitados a partir da interação dos sujeitos com os instrumentos materiais utilizados como dispositivos experimentais, mediadores do processo dessas novas elaborações conceituais.

Desconsiderando a longa duração e atentando para as estruturas de média duração, tomando como ponto de partida os trabalhos de compilação realizados no fim do século XV e início do século XVI, podemos aceitar que, devido os elementos elencados acima, a teorização da propriedade repulsiva apresentada por corpos atritados contém características de estruturas de média duração. Também os documentos históricos disponíveis quando da elaboração textual indicam que entre o registro dos fenômenos repulsivos e as tentativas de explicação através das teorias da eletricidade transcorreu um intervalo de tempo considerável.

Quando relatados, os fenômenos de repulsão eram vistos como uma anomalia, um ruído presente na experiência, provocado por uma série de elementos externos, sendo que o principal deles seria o ar. Assim o movimento que hoje aceitamos como repulsivo era interpretado como um deslocamento produzido pelo vento, sendo necessário o trabalho de diversos pesquisadores, em diversas regiões da Europa, entre o fim do século XVII e

ao longo do século XVIII, para incorporá-lo à teoria da eletricidade que estava sendo constituída a partir do final do século XVI.

O que para alguns autores pode ser encarado como um erro de Guericke, interpretamos como uma limitação nas estruturas mentais de um tempo produzida por uma série de fatores e que dentre estes podemos citar a escassez de interações com instrumentos materiais capazes de permitir elaborações conceituais de alto poder de síntese. Tal fato não desmerece o trabalho do autor, apenas denuncia uma forma de pensar de um tempo.

Ainda no livro de Guericke estão documentados fenômenos que só foram possíveis de serem produzidos com a máquina elétrica, devido a uma intensidade maior de produção de eletricidade em relação aos meios antes disponíveis. Antes os corpos eram atritados exclusivamente pela força muscular humana, de modo que o sujeito esfregava um corpo em outro até estes corpos apresentarem propriedades atrativas. Hoje aceitamos que o corpo humano é um ótimo condutor de eletricidade e que a Terra pode receber cargas oriundas do corpo humano. Assim, tendo essa teoria elétrica contemporânea como norteadora da explicação, podemos aceitar que os métodos utilizados antes da máquina elétrica produziam efeitos de baixa intensidade.

Com a máquina elétrica, o globo ficava suspenso, de modo a não ter contato com superfícies capazes de atenuar os efeitos, além disso, através da manivela, o globo poderia atingir uma expressiva velocidade de rotação de modo a produzir intensos movimentos de atração bem como outros efeitos antes não observados como estalidos, faíscas e um odor característico. Além disso produzia também uma sensação de formigamento em partes do corpo das pessoas que se aproximavam dela. (MEYER, 1972)

Com essa máquina foi possível produzir atrações mais intensas que em períodos anteriores, facilitando o processamento e a compilação dos conhecimentos sobre a atração produzida por corpos quando atritados. (MEYER, 1972). Além disso, a alta intensidade da eletricidade produzida tinha a capacidade de produzir algumas faíscas elétricas seguidas de estalos, o que possivelmente permitiu associar os fenômenos elétricos aos fenômenos atmosféricos de raio, relâmpago e trovão quando das tempestades.

A máquina elétrica sofreu diversos melhoramentos técnicos. O aprimoramento impetrado por Johann Heinrich Winckler, da Universidade de Leipzig, por volta do ano de 1733, substituiu a mão ou os panos por uma almofada usada como corpo com o qual o globo era atritado. Já o aprimoramento de Georg Matthias Boze (1710-1761) de Wittenberg, por volta de 1745, acrescentou um corpo como coletor, com o qual grandes

quantidades de eletricidade poderiam ser coletadas. Em Erfurt, um monge escocês chamado Gordon substituiu o globo de vidro por um cilindro de vidro.

Ainda na primeira metade do século XVIII surgiu uma máquina elétrica que consistia de uma placa de vidro e no mesmo tempo Benjamin Wilson desenvolveu um coletor para uma máquina elétrica que consistia de uma haste metálica com vários pontos finos, montados de modo que os pontos estavam próximos da superfície giratória. Essa máquina foi modificada e adaptada por diversos outros pesquisadores para estudar os fenômenos atrativos sob diversos aspectos e com uma variedade de materiais usados para atritar a bola de enxofre. (MEYER, 1972)

Nos modelos posteriores, o eixo era acionado em alta velocidade por meio de uma correia que associava volante maior a uma polia menor conectada ao eixo, transmitindo a rotação para a bola. A bola em movimento giratório adquiria propriedades atrativas quando nela se atritava uma das mãos secas ou um pano (MEYER, 1972).

**Figura 4** Representação da máquina elétrica transformada



Fonte: (ROLDAN, 2008) Disponível em

<https://media.sciencephoto.com/image/v5100023/800wm> acessado em 30.10.2019

As transformações na máquina elétrica a tornou mais eficiente. A manivela permitia produzir movimento sem que houvesse contato direto do sujeito com o globo girante. As roldanas com tamanhos diferentes tinham a pretensão de produzir um giro mais veloz no globo, vez que um giro na roldana maior produz diversos giros na roldana menor. As estruturas metálicas com lã ou material semelhante nas suas extremidades funcionavam como escovas, interagindo superficialmente com o globo, quando do giro, produzindo os efeitos atrativos, o odor, a faísca e o estalo

Experiências análogas à de Guericke foram feitas por Gray e por Francis Hauksbee, na Inglaterra, em 1708, por Du Fay, na França, por Franklin, nos Estados Unidos, e por um conjunto de outros pesquisadores em outras regiões da Europa. A máquina elétrica além de produzir eletricidade em quantidade até então desconhecida, trouxe novos problemas práticos e teóricos para a comunidade de intelectuais. Era preciso documentar e explicar todos esses novos fenômenos, exaurir as possibilidades de experimentação, recriar experimentos capazes de dar conta de apenas um desses efeitos.

Nesse mesmo ano, William Wall publica um artigo na revista *Philosophical Transactions*, no qual apresentava formalmente a semelhança entre os raios e trovões e as faíscas e os estalidos que emanavam dos corpos eletrizados. Winckler, talvez de modo independente, fez observações semelhantes um pouco mais tarde e sugeriu o uso hastes metálicas para proteção contra raios. (MEYER, 1972)

O estudo dos fenômenos relacionados à eletricidade está repleto de episódios semelhantes a esse, onde dois ou mais pesquisadores de modo isolado, estudando o mesmo objeto obtém os mesmos resultados ou resultados semelhantes sem, contudo, não terem contato entre si. Podemos interpretar tais acontecimentos aceitando que na Europa de então havia uma atmosfera de saber, um *Zeitgeist*<sup>41</sup> responsável pelas estruturas mentais, emocionais, afetivas, conspexões de realidade de um dado espaço.

O século XVIII é conhecido por muitos como o século da eletricidade, vez que com os aperfeiçoamentos técnicos operados na máquina elétrica e com o aparecimento de fenômenos antes não observados, aliado às alterações sociais vivenciadas tanto no continente europeu quanto nas terras colonizadas como no continente americano, no interior da África e nas terras do Oceano Pacífico proporcionam novas experiências intelectuais, sensitivas e emocionais. As transformações sociais fomentadas pelo desenvolvimento do capitalismo e do modo de produção industrial. As transformações políticas provocadas pela consolidação dos Estados Nacionais. É na segunda metade desse século que temos a Revolução Francesa e a Revolução Industrial.

Também é nesse século que temos o delineamento, um esboço, de uma teoria da eletricidade. A partir de uma analogia com a dinâmica dos fluidos, foi proposto um modelo da eletricidade como um ou dois fluidos distintos. Essa analogia é tão forte que mesmo no presente, depois de três séculos, é comum encontrar em textos universitários uma introdução a eletrodinâmica tomando como ponto de partida as discussões em hidrodinâmica.

---

<sup>41</sup> O termo alemão **Zeitgeist** designa conjunto do clima intelectual e cultural do mundo, numa certa época, ou as características genéricas de um determinado período de tempo. Esse conceito *Zeitgeist* foi introduzido por Johann Gottfried Herder, e difundido por outros escritores românticos alemães, em 1769, quando produziu uma obra na qual criticava o trabalho do filósofo Christian Adolph Klotz. (7GRAUS, 2019)

### **3.2 Da máquina elétrica à Garrafa de Leyden: o modelo da eletricidade como um fluido**

Quando das pesquisas utilizando a máquina elétrica, principalmente no século XVIII, a Filosofia Natural e a Filosofia Experimental já estavam consolidadas como segmentos do conhecimento típico da modernidade, vez que no que se refere aos conhecimentos de mecânica sintetizados tanto na obra de Galileu Galilei quanto principalmente na obra de Isaac Newton, já havia um complexo corpus de saber conceitual, matemático, axiológico, filosófico e de profundas implicações práticas. Os conhecimentos de mecânica disponíveis no arsenal cultural da modernidade estavam intimamente relacionados com as condições de reprodução da existência material do tempo na qual foi estabelecida, seja no aperfeiçoamento técnico dos sistemas de transportes terrestres e marítimos seja no planejamento e fabricação de máquinas mecânicas simples

O que hoje conhecemos como Cinemática e Dinâmica, presente nos livros de Física da primeira série do Ensino Médio no Brasil, foi um conhecimento de gestação que se perde no tempo e que se consolidou somente na segunda metade do século XVIII com a formulação lagrangeana da Mecânica Analítica, uma formulação matemática extremamente poderosa, de alto poder de síntese e de abstração.

Se o método de obtenção de conhecimento proposto Bacon era relativamente simples, pautado na observação, na descrição e na experimentação – experimentação essa realizada sem as preocupações de rigor características das experiências realizadas no século XX – ; o método preconizado pela Mecânica, efetivado mas não prescrito por Galileu (BUNGE, 1980), contava então com uma formulação matematizada das ideias, uma experimentação com um mínimo de controle.

A proposta de Galileu tornara possível a elaboração do Cálculo como linguagem privilegiada de expressão das ideias em Física, o que patrocinou também a formulação da Mecânica Analítica a partir dos Princípios Variacionais. Assim a Mecânica se apresentou como um modelo teórico, matemático e filosófico a ser seguido, seja por imitação, seja por analogia.

Como produto e reflexo dessa nova realidade temos a constituição de uma filosofia extremamente cara à modernidade conhecida como Mecanicismo e posteriormente, no Positivismo, o Fisicalismo. Para o Mecanicismo os fenômenos possuem uma causalidade intrínseca ou analógica, uma causalidade determinista linear,

de modo que o universo em sua totalidade seria um mecanismo, regido por uma entidade divina, assim como um relógio pressupõe a existência do relojoeiro que o construiu (BARRA, 2003). Já o Fisicalismo, termo forjado na década de 30 do século passado por Otto Neurath e Rudolf Carnap, remete à ideia de que cada declaração com algum significado é sinônima a alguma declaração física., isto é, que a totalidade da existência no mundo material se encerra em elementos físicos (ZILIO, 2010).

Devido ao projeto político, filosófico e cientificista do Esclarecimento iluminista (*Aufklärung*), as pesquisas em eletricidade no século XVIII sofreram forte influência das ideias mecanicistas. A consolidação de teorias mecânicas dos fluidos facilitou o processo de quantificação e matematização de alguns ramos da Física, inclusive da eletricidade (MORAIS, 2014).

Nesse contexto, a proposição de uma teoria da eletricidade como um fluido não era só consistente com os fenômenos elétricos observados até então, como fora uma alternativa possível, visto que o pensamento por analogia é uma forma de aproximar e familiarizar conhecimentos que estão distantes da forma de pensar do sujeito conhecedor. A analogia cumpre então um papel de suma importância na elaboração de teorias físicas (BUNGE, 1982).

Diante das limitações mentais e técnicas, devido à ausência de dispositivos experimentais e outros passíveis de serem utilizados para se observar fenômenos na escala microscópica; foi proposta a ideia dos **fluidos sutis**. Tais fluidos seriam imponderáveis, mas apresentariam diversas propriedades físicas (MORAIS, 2014), embora não pudessem ser observados a partir dos cinco sentidos humanos padrão. Como exemplos desses fluidos podemos citar o fluido magnético, o fluido elétrico, o fluido vital e o éter. Na atualidade, embora algumas formas de conhecimento humano aceitam a existência desses fluidos, nenhuma teoria física opera com esses conceitos.

Paradoxalmente alguns conceitos hoje válidos em física tais como os de carga elétrica, tensão elétrica, corrente elétrica, calor, capacidade de calor e “temperatura, foram forjados a partir do quadro teórico elaborado a partir da teoria dos fluidos sutis. Quadro teórico esse que, mesmo sem um poder conceitual objetivo, claro e direto, ainda possui grande poder em física, seja pelas representações mentais que possibilitam pontes analógicas entre a teoria dos fluidos e a teoria eletromagnética, seja pelo peso da história da longa duração que marca a elaboração do conhecimento acerca da natureza.

Ora é muito frequente, nos livros de Física Básica, a introdução ao estudo dos fenômenos eletromagnéticos a partir de uma forte correlação analógica com a teoria

hidrodinâmica. As linhas de corrente do fluido como representação mental das linhas de força dos campos elétricos e magnéticos. A formulação matemática do rotacional, do divergente, do gradiente. Todo o ferramental matemático da hidrodinâmica, com algumas adequações exigidos pela teoria e com a mudança de significado para os mesmos significantes matemáticos, é usado tanto na Eletrostática quanto na Eletrodinâmica.

Até o século XVIII, o estudo do magnetismo tinha apenas uma utilidade prática que era o uso da bússola como elemento de orientação principalmente nas viagens marítimas ao longo da costa. Já o estudo da eletricidade não tinha quaisquer aplicações práticas, a não ser o estabelecimento da tabela dos materiais que apresentavam ou não as propriedades de atração quando atritados. Com um trabalho coletivo de diversos pesquisadores, em diferentes regiões da Europa, o conhecimento acerca das propriedades da eletricidade vai se alargando de modo a conceber no mesmo quadro teórico referente à eletricidade a produção de luz, a produção de som, a alteração no estado fisiológico normal de um ser vivo, a alteração na qualidade do ar na vizinhança de uma máquina elétrica em operação, a produção de raios, relâmpagos e trovões, a transmissão de eletricidade de um lugar para o outro, as propriedades atrativas e repulsivas.

Se o século XVIII é considerado o século da eletricidade, é por todos os fatores elencados acima. Além disso, se antes desse tempo já havia algumas construções com hastes na parte mais alta da edificação com o intuito de protegê-las dos raios, é aqui também que, com a incorporação dos fenômenos atmosféricos à teoria elétrica, projetam-se dispositivos com a finalidade de proteção de construções contra os efeitos danosos de raios. Com essa primeira utilidade prática da eletricidade, essa teoria passa a fazer parte do cotidiano das sociedades ocidentais.

Esses novos direcionamentos teóricos e práticos, aliado à teoria dos fluidos sutis possibilita o gradativo enfraquecimento de propostas de explicações dos fenômenos elétricos e magnéticos a partir de elementos místicos, mágicos e religiosos em detrimento de explicações de cunho racionalista, mas nem por isso de menor poder criativo, vez que essas novas explicações exigiam grande poder de abstração e um alto poder de síntese na empreitada de se explicar a existência de alguma coisa que não poderia ser captada de forma direta pelos sentidos humanos como o tato, o olfato, a audição, a visão e o paladar. Assim o objeto conceitual eletricidade só seria apreensível pela elaboração conceitual.

A constituição e a apreensão conceitual da teoria da eletricidade se dão também pela mediação dos pesquisadores com os dispositivos materiais elaborados única e exclusivamente com o propósito de se estudar experimentalmente os fenômenos elétricos,



vez que a máquina elétrica permitiu a produção de eletricidade em escala até então nunca vista de modo a produzir também os efeitos secundários já citados. Outra grande novidade no estudo experimental da eletricidade foi a Garrafa de Leyden, um dispositivo que com a capacidade de armazenar eletricidade. Agora era possível tanto produzir eletricidade em ordem de grandeza inédita como também era possível armazenar essa eletricidade.

Nosso objetivo é problematizar os diversos empreendimentos experimentais elaborados com o uso da máquina elétrica e de suas variações com aprimoramentos técnicos e como esses empreendimentos forneceram elementos materiais e mentais para a constituição da teoria elétrica como uma teoria inspirada na mecânica dos fluidos, seja como uma representação mental desta teoria encarando a eletricidade efetivamente como um fluido seja por uma aproximação, uma analogia entre a mecânica dos fluidos e a teoria da eletricidade.

### **3.2.1 Os experimentos realizados com a máquina elétrica e a ampliação das possibilidades da eletricidade**

#### **3.2.1.1 Experimentos de Stephen Gray: a transmissão da eletricidade, a produção de luz e os efeitos fisiológicos da eletricidade**

Um trabalho fundamental para a continuidade das pesquisas que favoreceram a constituição da teoria eletromagnética contemporânea foi o prosseguimento da atividade compiladora característica da obra de Gilbert e levada a cabo por um conjunto de pensadores do século XVI, XVII e XVIII, tendo uma grande expressividade na obra de Stephen Gray (1666-1736), Boyle e outros que ampliaram a lista de materiais que se comportavam como o âmbar ao serem atritadas, que até então não se tinha o conhecimento de suas propriedades elétricas. Gradativamente essa lista incluiu o azeviche, o diamante, a safira, o carbúnculo, a opala, a ametista, a gema inglesa, o berilo, o cristal de rocha, o vidro, o enxofre, a laca, além de outros materiais.

Um dos diversos conhecimentos inaugurados pelo trabalho de Gray foi a o relato da existência de corpos que apresentavam a propriedade atrativa e para a existência de corpos que eram indiferentes ao atrito e não demonstravam quaisquer propriedades atrativas. A partir desse trabalho foi estabelecido que os materiais se classificam em duas classes gerais: a classe dos materiais elétricos e a classe dos materiais não elétricos.

Os corpos ditos eletrizados, isto é, corpos manifestavam propriedades atrativas que quando passavam por algum processo de interação por atrito, não sofriam alterações em suas propriedades macroscópicas como cor, dureza, forma, volume, massa; de modo que o único modo de saber se os corpos estariam ou não eletrizados seria estudando a interação desse corpo com outros corpos colocados na sua vizinhança. (ASSIS, 2018)

Os materiais não elétricos seriam aqueles que não apresentavam quaisquer propriedades de atração quando sofriam interações superficiais por atrito. Pertencentes a essa classe podemos citar as penas, os cabelos, a seda, o linho, a lã, outros tecidos, o papel, a madeira, o pergaminho, o couro e as peles de animais. As substâncias já classificadas por Gilbert como elétricas são chamadas hoje em dia de isolantes. Já as substâncias classificadas como não elétricas são chamadas atualmente de condutoras de eletricidade ou, simplesmente, de condutoras (ASSIS, 2018).

Ainda na primeira metade do século XVIII Stephen Gray, realizou vários experimentos, onde alguns corpos tidos como não elétricos adquiriam propriedades elétricas quando aquecidos e atritados (MEYER, 1972) (ASSIS, 2018), abrindo assim a possibilidade de relação dos estudos em eletricidade com o estudo dos fenômenos térmicos.

Além da aproximação da eletricidade com os fenômenos térmicos, no século XVIII, também a uma aproximação desta com os fenômenos luminosos. Em um conjunto de experiências com esse intuito Gray conseguiu obter luz a partir da interação entre uma máquina elétrica com o linho e o papel (MEYER, 1972). Gray também realizou experimentos nos quais obteve cones de luz no escuro quando aproximava as extremidades de uma haste de ferro, suspensa por fios de seda, e de um tubo de vidro eletrizado (ASSIS, 2018).

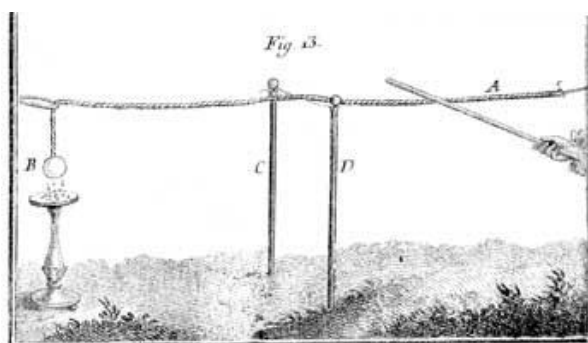
Além disso, Gray realizou diversas experiências de transmissão de eletricidade. Ele tentou eletrizar os metais utilizando os mesmos métodos que usou para eletrizar outros materiais, mas não obteve sucesso, até conseguir transferir uma carga de um tubo de vidro eletrizado para um pedaço de metal, utilizando uma máquina elétrica na qual encaixou uma rolha nas extremidades do tubo para impedir a entrada de sujidades. Primeiro ele aventou que encontraria uma diferença no comportamento do tubo depois de atritados com e sem as rolhas, porém não encontrou nenhuma diferença, mas percebeu que a rolha passou também a manifestar propriedades de atrair e repelir penas (MEYER, 1972). Como conclusão teórica de tal experimento temos que as propriedades elétricas do tubo

eletrizado foram transmitidas para a rolha. Gray não arriscou quaisquer explicações para o fenômeno.

Numa variante do experimento anterior, conectou a extremidade de um bastão numa bola de marfim e a outra extremidade numa rolha. Quando o tubo de vidro era atritado, tanto a bola de marfim quanto a rolha manifestavam propriedades atrativas. Extrapolando o experimento usou bastões cada vez mais longos, obtendo resultados semelhantes ao primeiro resultado. Esse árduo trabalho de tentar conduzir eletricidade a distancias cada vez maiores sofreu limitações devido a flexão sofrida pelos longos bastões, de modo que quando usou objetos para controlar a flexão do bastão percebeu que as extremidades do bastão não apresentavam quaisquer propriedades atrativas. (MEYER, 1972).

Por volta de 1729, em conjunto com Granville Wheeler, Gray substituiu os bastões por barbantes suspensos por fios de seda e com esse arranjo conseguiu transmitir a qualidade elétrica entre as duas extremidades do barbante, onde depois de muitos ajustes no dispositivo chegaram a uma distância de 765 pés (MEYER, 1972).

**Figura 5** A transmissão de eletricidade em longas distâncias



Fonte: (ASSIS, 2018, p. 252)

Tentativa de Gray de transmitir eletricidade de um local para o outro. Na figura temos um bastão de vidro eletrizado tocando em um barbante suspenso em suas extremidades e no seu terço médio por fios de seda. Os fios de seda por sua vez estão sustentados por bastões de madeira fincados verticalmente no solo. O bastão eletrizado toca no barbante e conduz a eletricidade por este até um corpo esférico B que atrai corpos leves colocados na sua vizinhança

Em outros experimentos, usaram cabelo, resina e vidro como suportes para o barbante. Com essa modificação técnica, a intensidade da eletricidade transmitida foi maior, de modo que foi possível transmitir a eletricidade por uma distância maior. Por tentativa e erro, também conseguiram eletrizar superfícies maiores, como um mapa e uma toalha de mesa. Todas essas atividades experimentais não seriam possíveis sem a máquina elétrica, vez que para realizá-las era preciso uma eletricidade de alta intensidade.

No trabalho de Gray fora observado diferentes gradações de interações elétricas proporcionais à distância da fonte eletrizada ao corpo no qual se fazia o contato. Nesse contexto, ao aproximar um tubo de vidro eletrizado de uma extremidade do barbante, sem nela tocar, Gray observou que as duas extremidades apresentavam propriedades atrativas sendo que na outra extremidade próxima do tubo de vidro essa propriedade era mais intensa que na outra extremidade do barbante. (MEYER, 1972).

No contexto europeu do séc. XVIII diversos termos em eletricidade já estavam estabelecidos e outros se consolidaram pelo uso das expressões “como corpo eletrizado”, “corpo neutro”, “corpo elétrico”, “corpo não elétrico”, “quantidade de eletricidade”, “eletrizar um corpo”, “eletrizar por contato”, “eletrizar por atrito”, sendo que os trabalhos de Gray foram cruciais para a difusão de muitos desses termos. Observa-se que o uso desses termos eram acompanhados com uma imprecisão desinteressada devido à ausência de um modelo teórico explicativo capaz de dar conta da totalidade dos eventos associados à eletricidade.

A máquina elétrica, dentre outras coisas, supera três limitações técnicas: o modo como os corpos eram eletrizados, por atrito com o emprego da força muscular humana, gerando efeitos de baixa intensidade; o não conhecimento das propriedades elétricas de alguns materiais inicialmente considerados como não elétricos, e, devido a isso, a ausência de efeitos da eletricidade no corpo humano. Antes da elaboração desse dispositivo, além da baixa intensidade dos efeitos produzidos pela eletricidade, perdas consideráveis das propriedades elétricas ocorriam devido ao não conhecimento das propriedades dos materiais e da ausência de conhecimentos de como manusear corpos eletrizados.

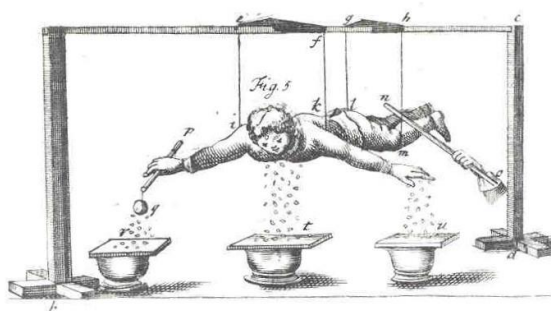
Quando um sujeito se aproximava de uma máquina elétrica em operação, mesmo sem tocá-la, sentia uma espécie de parestesia, uma sensação anormal por dentro de uma parte do corpo ou sobre a pele, acompanhada de dormência e eriçamento dos pelos e cabelos. Ao afastar da máquina elétrica tais efeitos desapareciam e ao tocar no globo girante ou nas estruturas metálicas da máquina, sentia uma sensação desagradável no corpo acompanhada de uma tremedeira na parte do corpo que tocava nessas estruturas.

Um estudo desses fenômenos, até então inéditos, demandaram grandes esforços de diversas pessoas, nas mais diferentes regiões da Europa e também da colônia britânica na América, então em processo de emancipação política. Dentre esses estudiosos, Gray desenvolve uma série de estudos sobre os efeitos da eletricidade no corpo humano, compilando diversos saberes acerca do problema estudado.

Por volta do ano de 1731, ele publica um trabalho no qual relata que um corpo B, carregado por contato com uma substância atritada A, se descarrega pelo contato com a mão de um observador, isto é, relata a possibilidade de que a interação de um observador com um corpo eletrizado seria a responsável pela perda da propriedade elétrica do corpo. Além disso, Gray admite a possibilidade de eletrização por contato (MORAIS, 2014). Assim, no trato experimental com objetos eletrizados, era preciso então o estabelecimento de procedimentos metodológicos rigorosos que garantissem que o corpo eletrizado não sofresse interações de quaisquer outros corpos, que ele ficasse isolado de influências externas.

Em um experimento que se tornara historicamente famoso devido a sua engenhosidade um garoto é suspenso, na posição de decúbito ventral, através de um sistema de cordas confeccionadas com materiais elétricos, isto é, com materiais conhecidos hoje como isolantes, e por meio de um bastão que interagira inicialmente com uma máquina elétrica, recebe, por contato, eletricidade. Na região das extremidades do corpo do garoto são colocados diversos corpos de massas diminutas. Depois de algumas interações do corpo do garoto com o bastão, os corpos de pequena massa são atraídos para as extremidades do corpo do garoto.

**Figura 6** Representação esquemática do experimento da levitação de materiais produzida por corpo humano eletrizado



Fonte: (SACK, 2019) Disponível <http://scihi.org/wire-connect-stephen-gray/> em acessado em 10.10.20196

Além dessa experiência, diversas outras experiências, devido a seu caráter mágico e racionalmente inexplicável nos moldes do conhecimento moderno, eram reproduzidas com o intuito de entretenimento. Esses espetáculos também tinham diversos objetivos como a finalidade pedagógica de ensinar a nascente ciência moderna bem como a finalidade política de convencer a opinião pública que essa forma de conhecimento seria a melhor alternativa frente o esfacelamento do conhecimento medieval.

Assim como William Wall e Winckler, Gray também aponta uma relação entre faíscas elétricas e os estalos com os ruídos do trovão e com os relâmpagos. Diversos

estudiosos da eletricidade se debruçaram sobre o estudo desses fenômenos, elaborando modelos explicativos que mesclavam elementos da cultura racionalista característica da modernidade com elementos da cosmovisão da antiguidade greco-romana e do período medieval, não obtendo, portanto, aceitação como modelo explicativo.

Na história da constituição da eletricidade como um ramo do conhecimento da nascente ciência moderna, Gray é um personagem que embora tenha um papel de suma relevância por seus trabalhos, não possui visibilidade histórica. Diversos elementos podem senão justificar, pelo menos lançar luz sobre algumas possibilidades de respostas. A primeira delas é que Gray muito tardiamente foi inserido no contexto das pesquisas em Filosofia Natural e em Filosofia Experimental; nessa inserção pertenceu a um grupo de pesquisadores que não tinham muita representatividade política na Sociedade Inglesa de Ciências, de modo que muitos de seus trabalhos não eram publicados, não eram aprovados nas comissões e mesmo alguns trabalhos eram reinventados ou mesmo copiados. Francis Hauksbee, responsável pela seção de Filosofia Experimental da Sociedade Real, ao passo que manifestava morosidade na avaliação dos trabalhos de Gray apresentava diversos trabalhos muito semelhantes aos propostos por Gray.

Outra característica importante do trabalho de Gray é que não consta quaisquer pretensões de produção de explicações totalizantes acerca dos fenômenos elétricos. Antes uma preocupação cirúrgica com descrição dos fenômenos e dos procedimentos adotados na elaboração de suas atividades experimentais.

[...] o objetivo de Gray era fazer experimentos e verificar o comportamento elétrico dos corpos. Não se preocupou muito em propor explicações para os fenômenos encontrados e descritos por ele. Nos seus textos encontramos apenas uma tentativa de explicação sobre o fenômeno da atração e repulsão dos corpos leves, a qual refere-se à emissão e reflexão de eflúvios pelos corpos. Contudo, ele próprio questiona a ideia e diz que deixará a explicação “à consideração dos doutos” [...]. Uma possível explicação para esse comportamento de Gray é que ele estava imerso em alguma tradição ou corrente filosófica que estivesse mais ligada à mera descrição dos fenômenos. Contudo, ele não deixa isto explícito, mas parece conduzir seu trabalho de acordo com alguns preceitos oriundos desta tradição (BOSS, 2011, p. 81)

A descrição é uma característica do conhecimento moderno acerca da eletricidade. A compilação e a descrição dos fenômenos e dos procedimentos experimentais forneceram um corpus de saber mais ou menos estruturado, que permitiram o desenvolvimento de estudos quantitativos de experimentos em eletricidade no século XIX. Mas antes disso alguns pesquisadores já elaboraram diversas propostas explicativas

de uma teoria da eletricidade. Dentre estas a melhor aceita foi aquela que considerava a eletricidade como duas espécies de fluidos sutis, sendo que um deles era o responsável pelo comportamento atrativo e o outro pela manifestação do comportamento repulsivo.

Nesses trabalhos a experimentação mesmo que apenas descritiva tinha status de verificador ou avaliador da veracidade da informação. Assim aparecem dois tipos de produção acadêmica acerca da eletricidade: trabalhos estritamente descritivos do comportamento de fenômenos elétricos quando da experimentação e trabalhos mais ousados que não só descreviam como também se arriscavam a explicar tais fenômenos recorrendo a elementos oriundos da mecânica, das crenças populares, dos saberes então constituídos de cunho animista, de caráter religioso, especulação filosófica (MORAIS, 2014).

### 3.2.1.2 Experimentos de Du Fay: o comportamento ACR, as duas formas de eletricidade e as imagens sem nitidez de uma teoria formal da eletricidade

Em Paris, Charles François de Cisternay Du Fay (1698-1739), membro da Academia Francesa de Ciências, a partir da década de trinta do séc. XVIII, relata diversos trabalhos em eletricidade. Na mesma atmosfera intelectual europeia na qual Gray produzira seus saberes, Du Fay também elabora diversos experimentos acerca da produção de luz e som por eletricidade, seus efeitos fisiológicos no corpo humano, transmissão de eletricidade através de diversos corpos humanos.

Jean Desaguliers publicou seus estudos nos quais concluía que todos os corpos poderiam ser classificados como elétricos e não elétricos, propondo o uso dos termos condutores e isolantes para fazer referência a tais corpos (ASSIS, 2018). Mas foi Du Fay que conseguiu montar experimentos nos quais corpos inicialmente classificados como não elétricos passaram a manifestar propriedades elétricas, defendendo que todos os corpos poderiam ser eletrizados. No caso dos corpos não elétricos, hoje conhecidos como condutores, era necessário que eles fossem isolados. A partir dos experimentos de condução efetivados por Gray, obteve melhores resultados de condução de propriedades elétricas quando o barbante estava molhado e conseguiu conduzir eletricidade em um barbante a uma distância de 1256 pés. (MEYER, 1972)

Como Gray, também admitira que para se preservar as propriedades elétricas no corpo humano era preciso isolá-lo do solo e de demais influências externas. Assim, Du Fay conseguiu eletrizar o corpo humano quando este estava isolado do solo e transmitir

eletricidade de um humano eletrizado para outro não eletrizado. Tanto no sujeito eletrizado quanto no não eletrizado houve a manifestação de uma sensação de formigamento. Quando esse experimento era reproduzido em um cômodo sem luz era possível perceber a emissão de uma faísca de luz quando da transmissão da eletricidade.

Com diversos versórios Du Fay conseguiu estabelecer a direção de movimento de certos corpos depois que estes eram submetidos a diversos procedimentos experimentais, onde estes ora apresentavam movimentos de aproximação e ora apresentavam movimentos de afastamento. (MEYER, 1972)

Mesmo sendo bastante criativo na elaboração e execução de suas atividades experimentais, a principal atividade de Du Fay em eletricidade foi a proposição de uma teoria formal da natureza da eletricidade. Essa teoria exerceu grande influência tanto nos pensadores de seu tempo como nas futuras gerações, sendo o primeiro modelo explicativo coerente com as exigências epistemológicas da ciência moderna

Du Fay também desenvolve uma explicação formal para um efeito que Von Guericke já relatara quando da publicação de seu livro no qual apresenta a máquina elétrica. Esse efeito consiste no fato que inicialmente um corpo apresenta propriedades elétricas após ser atritado, atraindo outro corpo até que os dois entram em contato e em seguida os dois passam a se repelir. Essa sequência de fenômenos ficou conhecida como o sistema ACR, por apresentar sempre um fenômeno atrativo, uma transferência de eletricidade pelo contato dos corpos (condução) seguida de uma repulsão.

A repulsão elétrica, embora existindo como fenômeno natural ao longo do tempo que se perde na cronologia, ou não era observada ou interpretada como um efeito colateral. As elaborações explicativas com o propósito de dar conta do fenômeno repulsivo gravitavam em torno de três concepções fundamentais. A primeira delas e talvez a mais antiga é que a aparente repulsão seria devida a um fluxo de ar que afasta os corpos leves do âmbar atritado, não tendo quaisquer relações com os fenômenos elétricos.

Uma segunda explicação pondera que a repulsão seria aparente e devido a uma atração causada por outros corpos vizinhos. O corpo leve seria atraído por outros corpos vizinhos que de alguma maneira foram carregados e o âmbar estaria atraindo o corpo leve mais fracamente do que os corpos vizinhos carregados.

Outra possibilidade de explicação admitia que o fenômeno não seria uma repulsão de fato, mas sim uma colisão mecânica, onde o corpo que era inicialmente atraído pelo âmbar, colidia com ele, sendo então refletido de volta para longe dele:



A repulsão como um fenômeno característico das interações elétricas foi proposta por Du Fay, entre em 1732 e 1735 (MORAIS, 2014), com a proposição de uma teoria formal para explicar o sistema ACR (ASSIS, 2018). Para tal, admitiu a existência de dois tipos de eletricidade. Nomeou essas eletricidades de eletricidade vítrea e de eletricidade resinosa.

Para Du Fay materiais semelhantes ao vidro tinham um comportamento e os semelhantes a resina tinham outro. (MORAIS, 2014). A eletricidade vítrea seria produzida pelo vidro, cristal de rocha, pedras preciosas, cabelo de animais e lã. Já a eletricidade resinosa seria produzida em âmbar, copal, linha e papel.

Inicialmente nem mesmo o próprio Du Fay considerava a repulsão como sendo um fenômeno real. Foi depois de muito tempo maturando a ideia e se convencendo dela que propôs o seu modelo explicativo. Além do tempo de maturação da ideia, as diversas tentativas Du Fay de elaborar atividades experimentais, com vários materiais e instrumentos distintos, tiveram um papel relevante na maturação de seu psiquismo no que tange à pensar a repulsão como um fenômeno de natureza elétrica

Depois de várias outras tentativas que não me satisfizeram de forma alguma, aproximei da folha de ouro repelida pelo tubo, uma bola de cristal de rocha atritada e eletrizada, ela [a bola] repelia esta folha da mesma forma que o tubo. Um outro tubo [de vidro eletrizado] que apresentei `a mesma folha a repelia da mesma maneira, enfim, não pude duvidar que o vidro e o cristal de rocha faziam precisamente o contrário da goma-copal, do âmbar e da cera da Espanha, de maneira que a folha repelida pelos primeiros, devido `a eletricidade que ela havia adquirido, era atraída pelos segundos; isto me fez pensar que haveria talvez dois tipos de eletricidade diferentes. [Fala de Du Fay] (ASSIS, 2018, p. 112)

Mesmo com experiências pouco sistemáticas e não matematizadas, muito comuns e a alternativa encontrada para se estudar a eletricidade na Modernidade, as explicações de Du Fay são mais consistentes com o projeto de ciência moderna que as de seus antecessores, sendo muito importantes para os desenvolvedores da ideia da eletricidade como um fluido (MORAIS, 2014), vez que propõe um norte a partir do qual a eletricidade era percebida como sendo uma característica real da natureza, enfraquecendo o seu poder supra natural.

O modelo explicativo de Du Fay propõe uma eletricidade não mais associada aos fluidos sutis, mas que esta seja interpretada como sendo dois fluidos mecânicos distintos. Aqui não há uma analogia entre eletricidade e mecânica dos fluidos, mas sim uma ideia

de que esta seria de fato fluido, com todas as propriedades atribuídas aos fluidos pela mecânica clássica.

O mecanismo fundamental de atração, contato e repulsão – ACR, aliado ao modelo explicativo da eletricidade como duas espécies de eletricidade, a vítrea e a resinosa, possibilitou a explicação de uma grande quantidade de fenômenos elétricos nos moldes da ciência moderna. antes não explicados. (MORAIS, 2014)

Em eletricidade há um princípio ainda hoje válido que afirma que um corpo eletrizado atrai um corpo não eletrizado. Como já foi exposto, esse conhecimento não era novidade na Antiguidade Clássica, sendo relatado por Tales no século VII a.C. O fenômeno da repulsão, se observado ao longo do tempo, não foi encarado como um fenômeno elétrico e nem sequer registrado. Foi somente no século XVIII que os fenômenos repulsivos foram ponderados como efeitos elétricos e onde se estabeleceu uma diferença qualitativa entre o movimento atrativo e o movimento repulsivo de natureza elétrica.

Entretanto a continuidade dos estudos da Filosofia Experimental permitiu não só que se provocasse interações entre corpos eletrizados e corpos neutros, como também interação entre corpos eletrizados. Segundo o pensamento de Du Fay, há duas espécies de eletricidade, uma responsável pelo comportamento atrativo e outra pelo comportamento repulsivo, mas o comportamento repulsivo só era verificado quando da sequência atrito-contato-repulsão (ACR).

Não bastasse essa limitação da manifestação do comportamento repulsivo, tanto um corpo eletrizado com a eletricidade resinosa quanto um corpo eletrizado com a eletricidade vítrea poderiam atrair um corpo neutro, de modo que não existia uma forma de distingui-las por seus efeitos. Além disso, a interação entre dois corpos eletrizados gerava dois efeitos contrários, um deles, já conhecido, era o movimento atrativo, o outro, novidade, era o movimento repulsivo. Como explicar esses movimentos sem ferir o mais antigo princípio da eletricidade? (MORAIS, 2014).

Diante dessas inconsistências apresentadas no modelo teórico de Du Fay frente aos conhecimentos obtidos pela experiência, propôs duas modificações em seu modelo teórico. A primeira delas foi a proposição de que corpos não eletrizados podem ser atraídos por corpos que passaram por processos de eletrização, independentemente da natureza da eletricidade, isto é, seja ele vítrea ou resinosa. A segunda modificação foi a proposição de que eletricidades de mesma natureza produziam repulsão e de naturezas

contrárias atração. Assim, corpos que apresentavam a mesma eletricidade se repeliam e com eletricidades diferentes se atraíam.

Mais tarde, no prosseguimento dos estudos em eletricidade, um corpo que inicialmente estava associado a um tipo eletricidade, depois de um conjunto de procedimentos, poderia manifestar um comportamento característico do outro tipo de eletricidade. Assim, o vidro por exemplo, que tinha as propriedades da eletricidade vítrea, em alguns casos manifestava um comportamento característico de corpos que com eletricidade resinosa. Tal fato questiona o modelo teórico proposto por Du Fay, que associava as eletricidades às propriedades macroscópicas de certos materiais.

Como as palavras designadas a identificar e qualificar as eletricidades não davam conta da complexidade dos fenômenos, vez que fazia referências aos materiais e estes por sua vez, dependendo das condições iniciais do processo de atrito, poderia ora manifestar um comportamento ora outro comportamento, foi proposta uma alteração nos nomes dessas eletricidades de modo que uma delas foi chamada de eletricidade positiva e a outra de eletricidade negativa. Termos esses que ainda persistem na teoria elétrica contemporânea, porém ressignificados.

### **3.2.2 Francis Hauksbee: produção de luz, relações políticas e concentração de esforços no projeto da Mecânica newtoniana**

O inglês Francis Hauksbee, embora tenha desenvolvido diversos dispositivos experimentais associados à Mecânica Clássica, possui uma estreita relação com o desenvolvimento histórico dos conhecimentos relativos à eletricidade. Além de proporcionar a difusão das ideias contidas nos trabalhos de Gray, Du Fay e de outros pesquisadores de seu tempo; desenvolveu pesquisas relacionadas à produção de luz a partir de fenômenos elétricos.

Por volta de 1703, com a morte de Robert Hooke, e a ascensão de Isaac Newton à direção da Sociedade Real Inglesa, Francis Hauksbee fora designado para a função de assistente de atividade experimental de Newton e, mais tarde, como o responsável pela seção experimental dessa sociedade.

Essa aproximação com Newton, por um lado proporcionou a Hauksbee uma certa notoriedade, uma relativa liberdade de ação e por outro lado exigia deste um comprometimento com todas as ações de Newton, de modo que ficou encarregado de desenvolver e apresentar diversos experimentos com o objetivo de fortalecer os

conhecimentos presentes no livro **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural**, de Isaac Newton.

Entretanto, como responsável pela seção de atividades experimentais também exerceu o seu poder tanto em defesa dos interesses de Newton como em defesa dos próprios interesses. Hauksbee decidiu quais atividades experimentais poderiam ser apresentadas, quando os trabalhos seriam publicados. Como a Sociedade Real inglesa era um palco de disputa de diversas propostas filosóficas em relação às ideias sobre a natureza, esse papel de controle da produção intelectual desempenhou e desempenha ainda hoje um instrumento de regulação do saber.

Adotando essa postura, todo e qualquer conhecimento em eletricidade e em qualquer outra área de interesse tanto da Filosofia Natural quanto da Filosofia Experimental tinha que passar pelas mãos de Hauksbee, logo este tinha diversas informações privilegiadas com as quais alimentava suas atividades experimentais. Devido aos elementos relatados acima, a relação de alguns estudiosos com a pessoa de Hauksbee foi marcada por diversos conflitos de interesse e muitas disputas políticas, intelectuais e de outras naturezas.

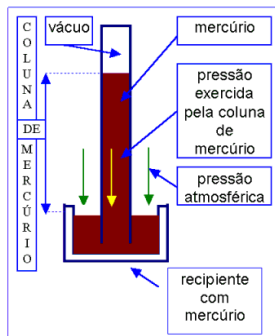
Esses conflitos respigam na relação de Hauksbee com Gray, onde em alguns trabalhos que tratam dessa relação há diversos indicativos que muitas ideias originalmente atribuídas a Gray aparecem em diversos trabalhos de Hauksbee sem quaisquer menções a Gray, de modo que àquele em algumas circunstâncias foi atribuído o adjetivo de plagiador (BOSS, 2011). Além disso, por Gray ter vínculos de amizade com sujeitos que Newton considerava inimigos, muitos de seus trabalhos não foram publicados ou o eram tardiamente.

Desde a segunda metade do século XVII, sabia-se que ao se agitar um barômetro de mercúrio numa região não iluminada, aparecia flashes de luz no espaço evacuado acima do mercúrio. Possivelmente diversos outros pesquisadores desse tempo observaram tal fenômeno, porém diversas referências historiográficas atribuem o registro escrito ao francês Jean Picard.

Na primeira década do século XVIII, Hauksbee desenvolveu um conjunto de procedimentos experimentais com o intuito de explicar os fenômenos luminosos observados. Em um desses experimentos, usou diversos recipientes de vidro contendo mercúrio, alguns dos quais o mercúrio fora retirado, deixando apenas sujidades de mercúrio. Quando os recipientes foram sacudidos, a luz apareceu em todos os recipientes, só que naqueles com as sujidades de mercúrio, apareciam de modo tênue ao passo que

nos que continham mercúrio a luz era mais intensa (MEYER, 1972), indicando inicialmente que a produção da luz estava associada às quantidades de mercúrio presentes no tubo.

Figura 7 O barômetro de mercúrio



Fonte: (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ) Disponível em <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap4/cap4-6.html> acessado em 13.11.2019

O Barômetro de mercúrio foi elaborado pelo italiano Evangelista Torricelli em meados do século XVII e consistia em um tubo de vidro vertical fechado em uma extremidade e cheio de mercúrio. Quando o tubo é invertido com a extremidade aberta voltada para baixo em um recipiente aberto contendo mercúrio, o nível do mercúrio no tubo desce até ser equilibrado pela pressão atmosférica, deixando um vácuo no tubo acima do mercúrio (MEYER, 1972).

Posteriormente Hauksbee obteve resultados semelhantes para recipientes de vidro totalmente limpos, sem quaisquer fragmentos de mercúrio, e com todo o ar evacuado de seus interiores, apenas atritando a superfície do recipiente de vidro. Assim ponderou que o fenômeno observado no barômetro de mercúrio poderia ter a mesma origem que os fenômenos atrativos observados quando alguns corpos sofriam algum processo de atritamento (MEYER, 1972). Para Hauksbee, a luz observada nos tubos de vidro contendo mercúrio não era devido ao mercúrio em si, mas ao atrito superficial do mercúrio com o tubo quando se provocava um movimento no mercúrio.

A partir disso, o fenômeno luminoso deixa de ser relacionado com causas e explicações de diversas naturezas para fazerem parte dos fenômenos a serem contemplados com propostas explicativas a partir da teoria da eletricidade, que estava em vias de constituição. Com esses trabalhos de Hauksbee, a luminosidade de natureza elétrica, antes obtida como um efeito secundário a partir do funcionamento de uma máquina elétrica, passa a ser um efeito principal, produzido exclusivamente a partir da interação do vidro previamente atritado com outro corpo colocados nas proximidades desse vidro.

Fazendo uso de recipientes de vidro de tamanhos e formatos diversos, vazios e contendo diferentes volumes de mercúrio, Hauksbee conseguiu obter luzes de diversas tonalidades e de diferentes intensidades (MEYER, 1972). A incorporação dos fenômenos luminosos à teoria da eletricidade não tinha quaisquer bases ou fundamentos capazes de proporcionar uma resposta satisfatória para a ocorrência destes; mas como produzia um efeito espetacular para os olhos, assim como diversos outros fenômenos; fazia parte das apresentações de cunho recreativo, comuns, principalmente no século XVIII.

Assim como Gray, Du Fay e outros estudiosos, Hauksbee estudou diversos fenômenos que só no século XVIII foram associados à eletricidade, como a condução de eletricidade a distâncias consideráveis, a interação entre dois corpos previamente eletrizados, os efeitos fisiológicos da eletricidade em humanos, o aprimoramento técnico da máquina elétrica de fricção.

No que se refere à máquina elétrica, partindo de um dispositivo com o mesmo princípio de funcionamento da máquina proposta por Otton von Guericke, substituiu o globo de vidro por um cilindro de vidro oco e no qual se fez vácuo no seu interior, apoiado na horizontal ou na vertical e que podia girar ao redor de seu eixo. O vidro era girado rapidamente, sendo então atritado contra um papel ou contra sua mão raspando nele, obtendo excelentes resultados (MEYER, 1972). Com essa mudança técnica na máquina elétrica foi possível não só observar mais facilmente os fenômenos luminosos de natureza elétrica como também produzir outros efeitos com maior intensidade.

Como Hauksbee tinha uma proximidade com Newton e por isso uma facilidade de trânsito no meio intelectual inglês do início do século XVIII, possivelmente, no âmbito teórico, a associação da eletricidade com as ideias da mecânica dos fluidos já se insinuava em alguns experimentos e em algumas propostas de modelos explicativos. Ora em meados desse século surge um artefato capaz de armazenar a eletricidade e o que antes era apenas uma intuição sem quaisquer indicativos materiais que a permitisse, agora tinha se apresentava como uma realidade inexorável: a eletricidade como um fluido mecânico passível de ser armazenado. Esse artefato ficou conhecido como garrafa de Leyden, um objeto bem mais simples que a máquina elétrica de fricção, mas que produz profundas alterações nas estruturas mentais dos sujeitos que interagiram com ela o que por sua vez se manifesta na mudança de direção nas pesquisas em eletricidade e na proposição de um modelo de eletricidade relativamente mais uniforme e consoante com a Mecânica Clássica.

### 3.2.3 A Garrafa de Leyden: o armazenamento da eletricidade

Como já vimos anteriormente, é só com a máquina elétrica que a humanidade consegue produzir eletricidade com uma intensidade tal que aparecem diversos efeitos antes não observados como a produção de luz, a alteração no estado fisiológico normal de um ser humano, a exalação de um odor de enxofre quando a máquina elétrica estava em operação e a emissão de alguns ruídos como estalos. Esses efeitos foram estudados por diversos pesquisadores ao longo do século XVIII e foram incorporados aos conhecimentos sobre a eletricidade então em voga no tempo em questão.

Embora a máquina elétrica tenha possibilitado a produção de eletricidade em intensidade então desconhecida, essa eletricidade era transiente, de modo que a sua efemeridade impossibilitava um estudo de alguns efeitos em escala de tempo considerável. A eletricidade obtida pela máquina elétrica tinha curto tempo de existência, sendo dissipada de modo inexplicável. Já era sabido que para se analisar os efeitos da eletricidade em alguns materiais era preciso isolá-los em relação ao solo e em relação a outros materiais. Também já se sabia que para o sucesso de alguns experimentos era preciso alguns cuidados procedimentais para retardar a fuga dessa eletricidade, mas não havia quaisquer explicações coerentes com o projeto de ciência moderna capaz de dar conta dessa perda da eletricidade.

Como havia uma associação da eletricidade à ideia dos fluidos sutis, uma possível explicação para a perda da eletricidade de um corpo previamente eletrificado ocorria devido a evaporação do fluido elétrico devido a sua exposição ao ar (ROCHA, 2002) (WHITTAKER, 1951).

Antes da proposição de uma explicação desse efeito de perda da eletricidade nos moldes da ciência moderna, por volta de 1745 Ewald George von Kleist de Kammin, Pomerania, na Alemanha, apresenta à comunidade de intelectuais da cidade de Berlim um artefato capaz de armazenar a eletricidade. Esse artefato, extremamente simples, consiste de uma garrafa confeccionada com vidro, parcialmente cheia de água e contendo uma haste de metal que comunicava o interior da garrafa ao exterior através da boca da garrafa.

De modo independente, aparentemente sem que tivesse conhecimento do trabalho de von Kleist, Pieter van Musschenbroek e seu grupo, em Leyden, Holanda, também apresentaram à comunidade holandesa o mesmo artefato, que posteriormente, devido a Abbé Nollet (ROCHA, 2002), ficou conhecido como Garrafa de Leyden, fazendo uma referência direta ao grupo de Leyden em detrimento dos pesquisadores da Alemanha e de

outras regiões da Europa que ou propuseram o artefato ou nele operaram aperfeiçoamentos técnicos.

Figura 8 Garrafa de Leyden



Fonte: (ATELIÊ DE BRINQUEDOS CIENTÍFICOS) Disponível em <http://atelierciencias.br.tripod.com/novos.htm> acessado em 30.11.2019

Reprodução histórica da Garrafa de Leyden, já contendo diversos aperfeiçoamentos técnicos como uma base isolante, as faces protegidas por material condutor e extremidade da haste metálica de forma esférica. Esses aperfeiçoamentos técnicos visavam ou melhorar o rendimento do artefato ou facilitar as operações experimentais efetivadas fazendo o uso do artefato.

Para armazenar eletricidade na garrafa, colocava-se em funcionamento uma máquina elétrica e com um material elétrico comunicava-se o interior da Garrafa de Leyden com o material girante (bola de enxofre, bola de vidro ou cilindro de vidro), a eletricidade produzida pela máquina elétrica era conduzida para o interior da Garrafa de Leyden, lá permanecendo por horas, dias ou mesmo meses (MEYER, 1972).

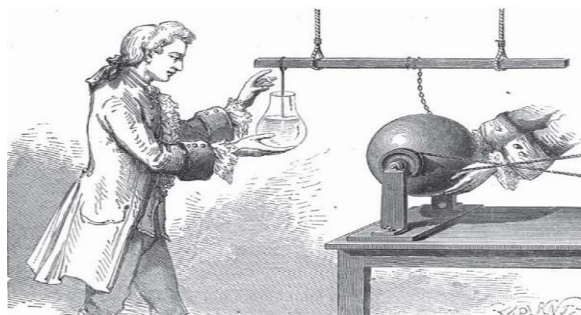
Devido a uma série de limitações técnicas, desde o instante da operação da máquina elétrica até o momento de um dado estudo experimental, grande parcela da eletricidade produzida era dissipada de diversas formas. Com a Garrafa de Leyden essas perdas eram recompensadas fazendo a máquina trabalhar mais e armazenando a eletricidade. Com a possibilidade de armazenar eletricidade fora possível produzir efeitos elétricos bem mais intensos que os efeitos da máquina elétrica.

A Garrafa de Leyden permite então intensas descargas elétricas, intensificando assim os efeitos observados quando da operação da máquina elétrica e incorporando à eletricidade novos fenômenos que antes não fazia parte do rol dos conhecimentos abarcados por essa teoria, a saber: alguns fenômenos atmosféricos. Além dessa nova possibilidade, esse artefato, devido a sua extrema simplicidade, foi largamente difundido pelas mais diferentes regiões da Europa sendo replicadas de modo massivo.



Da mesma forma que os demais artefatos já apresentados ao longo do trabalho, como o versório, o perpendicular e a máquina elétrica; a Garrafa de Leyden favoreceu o desenvolvimento do psiquismo dos sujeitos que interagiram com ela. Esses artefatos no papel de mediadores entre a realidade material e os objetos conceituais humanos foram cruciais tanto para o amadurecimento das estruturas mentais dos pesquisadores quanto para a proposição de um modelo teórico explicativo acerca da eletricidade.

**Figura 9** Armazenamento de eletricidade em uma Garrafa de Leyden



Fonte: (ASSIS, 2018, p. 243)

Gravura onde supostamente von Kleist segura uma Garrafa de Leyden, quando da operação de armazenamento da eletricidade produzida a partir de uma máquina elétrica. Durante muito tempo, cerca de três séculos, a única forma de produzir eletricidade de alta intensidade foi usando a máquina elétrica e a garrafa de Leyden

Assim como diversos saberes elaborados em eletricidade que tiveram primeiro uma elaboração material e só depois uma elaboração teórica explicativa, a Garrafa de Leyden embora bastante eficaz, não tinha quaisquer elementos teóricos que a explicasse, a não ser a ideia de que a eletricidade era de fato um fluido mecânico capaz de ser confinado no interior da garrafa, diminuindo a velocidade da evaporação do fluido elétrico (ROCHA, 2002).

De acordo com a figura 9, frequentemente, o processo de armazenamento da eletricidade na Garrafa de Leyden era efetivado com uma pessoa segurando-a, enquanto a máquina elétrica estava em operação. Acontece que, no término dessa operação, quando a pessoa que estivesse segurando a Garrafa de Leyden tocasse na haste que comunica o interior com o exterior da garrafa, recebia uma descarga elétrica de alta intensidade.

Para superar esse efeito desagradável, um aperfeiçoamento técnico foi proposto pelos ingleses: revestir o exterior da garrafa com folha de chumbo ou folha de estanho para evitar o contato humano direto com o vidro. Desse modo, não só fora evitado o efeito fisiológico desagradável como também foi aumentado o poder de armazenamento da Garrafa de Leyden. Outro aperfeiçoamento técnico, também proposto na Inglaterra,

devido a John Smeaton, aumentou ainda mais a capacidade de armazenamento de eletricidade na Garrafa de Leyden, quando as folhas de estanho foram aplicadas tanto na face interna quanto na face externa da garrafa, substituindo o estanho pela prata o poder de armazenamento aumentou ainda mais (MEYER, 1972).

Além desses aperfeiçoamentos técnicos, a exemplo dos trabalhos de Hauksbee com tubos de vidros nos quais se faziam vácuo em seu interior e que maximizavam os efeitos luminosos da eletricidade, foi proposto uma Garrafa de Leyden sem água (ROCHA, 2002). Do seu aparecimento até essas inovações técnicas, transcorreram um pequeno intervalo de tempo, o que denuncia uma nova dinâmica das pesquisas em eletricidade provocada pelas alterações no psiquismo dos atores envolvidos nos estudos em eletricidade em decorrência da interação dos instrumentos elaborados única e exclusivamente para se estudar a eletricidade.

Essa aceleração dos estudos em eletricidade também é acompanhada de perto pela aceleração no próprio devir europeu, provocado pelas transformações sociais, políticas, econômicas e culturais que grassam o continente europeu, modificando a cosmovisão tradicional vinculada ao universo medieval em detrimento dos diversos elementos constituintes da modernidade. Mas o que singulariza essa aceleração dos estudos em eletricidade é a capacidade humana de produzir instrumentos e interagir com eles de modo a modificar a si mesmo de tal modo a produzir uma aceleração no próprio processo de produção de artefatos.

A essa altura, graças à consolidação da mecânica dos fluidos como saber constituinte da Mecânica Clássica e à elaboração da Garrafa de Leyden, a eletricidade ganha um modelo teórico no qual se inspira para encontrar o seu caminho. Se antes a eletricidade estava associada à ideia dos fluidos sutis pela ausência de alguma base material na qual se pudesse edificar quaisquer modelos explicativos, agora a eletricidade era encarada como um fluido mecânico real, material e plausível de operações matematizadas de medições e quantificações.

Da ideia da eletricidade vítrea e resinosa como duas formas de eletricidade intrinsecamente diferentes e associadas às propriedades macroscópicas dos materiais, passando pela ideia das eletricidades positiva e negativa, não associadas a quaisquer características palpáveis dos corpos, chega-se à ideia da eletricidade como sendo dois fluidos mecânicos distintos. Abbé Jean-Antonie Nollet (1700-1770), professor da Universidade de Paris, introduziu a ideia de que os dois tipos de eletricidade correspondem a dois tipos distintos de fluido elétrico. (MORAIS, 2014). E, mais tarde, a teoria é simplificada pela proposição da eletricidade como um fluido único que, quando

presente em desequilíbrio em um corpo, manifestava dois comportamentos elétricos diferentes.

A proposição da eletricidade como fluido único foi acompanhada de perto pelo desejo de elevar os estudos em eletricidade ao mesmo status da Mecânica Clássica, que no século XVIII, graças aos esforços de Euler e Lagrange, adquire elevadíssimo poder de síntese e alta carga de abstração, sem contar no rigor matemático e a capacidade preditiva. Atrair a eletricidade à mecânica dos fluidos era antes de tudo perseguir essa pretensão.

Nesse contexto diversos trabalhos foram realizados de modo a se desenvolver diversos métodos e técnicas de medições indiretas de grandezas associadas à eletricidade. Do século XVIII para o século XIX, o conhecimento da eletricidade sofre uma bifurcação, aparecendo um conhecimento mais atrelado aos efeitos da eletricidade e outro conhecimento mais relacionado com as causas da eletricidade. Em diversos momentos esses dois conhecimentos se cruzavam, se confrontavam, um subsidiava o desenvolvimento do outro, até que na segunda metade do século XIX, eles se unificam e também se aproximam do magnetismo de modo que nas primeiras décadas do século XX, há finalmente uma proposição de uma teoria elétrica e magnética capaz de abarcar uma gama infinita de fenômenos a partir de alguns princípios fundamentais e de quatro proposições básicas. Tais proposições foram inspiradas nos conceitos da mecânica dos fluidos de divergente e de rotacional.

### **3.3 Da Garrafa de Leyden à pilha voltaica: um corpus teórico existente sem uma fundamentação em princípios, mas com hipóteses, leis gerais e diversos modelos teóricos explicativos**

De meados do século XVIII ao início do século XIX, as pesquisas em eletricidade com uma ou outra variação foram elaboradas basicamente com a máquina elétrica para a produção e a com a Garrafa de Leyden para o armazenamento da eletricidade. Com esses dois artefatos, os efeitos antes não produzidos pelos processos de atrito com uso de força muscular humana ou produzidos em baixa intensidade com o uso da máquina elétrica, devido à Garrafa de Leyden, agora eram produzidos de modo relativamente intenso e mais duradouros.

Tal fato, aliado aos processos de longa e média duração relacionados estudos da eletricidade e do magnetismo, tais como a incorporação dos saberes acerca da eletricidade à cosmovisão do pesquisador europeu em Filosofia Natural e em Filosofia Experimental

dos séculos XVII e XIX, permitiu estudos mais sistematizados dos efeitos secundários da eletricidade, como a produção de luz, os efeitos de condução da eletricidade por longas distâncias, os efeitos fisiológicos da eletricidade, o efeito ACR, os efeitos térmicos e os efeitos químicos.

Um desses efeitos que foram também estudados foi o efeito da indução elétrica, que consistia na alteração das propriedades de movimento de um corpo quando este era aproximado de um corpo eletrizado sem, contudo, nele tocar. Já na primeira metade do século XVIII, diversos estudiosos já haviam se debruçado sobre o problema, como Gray, Du Fay, Hauksbee e Nollet. Mas é com Benjamin Franklin, Cantor, Aepinus e diversos outros pesquisadores de uma segunda ou terceira geração de eletricitas, que o problema ganha modelos explicativos, possibilidades de medições ou quantificações de grandezas bem como a elaboração de diversos artefatos materiais que favoreceram o aprofundamento dos estudos em eletricidade, tais como eletróforo, a balança de torção, o eletrômetro, o coletor, o dobrador elétrico, o eletroscópio de folhas.

O aparecimento de diversos artefatos, cada um atendendo a uma especificidade da pesquisa em eletricidade pode ser um indicativo do enriquecimento material das próprias pesquisas, proporcionado entre outros fatores pela mediação dos sujeitos com as ideias possibilitadas pelos primeiros instrumentos elaborados com a finalidade de se estudar a eletricidade. Esses artefatos não são como de início aprimoramentos técnicos de um ou outro instrumento, mas sim uma proposição radicalmente inédita de instrumentos capazes de fornecer elementos antes de tudo quantitativos a respeito da eletricidade, proporcionando assim uma aproximação dos modelos explicativos da eletricidade com os modelos explicativos formais e matematizados característicos da Mecânica Clássica, tida então como o padrão de conhecimento moderno a ser seguido.

O processo de matematização dos modelos explicativos dos fenômenos elétricos partem inicialmente da quantificação da eletricidade ou da intensidade dos fenômenos atrativos ou repulsivos a partir de uma dada distância inicial dos corpos eletrizados. Devido à ausência de princípios fundamentais capazes de abarcar a totalidade dos fenômenos de causas supostamente elétricas, essa matematização se demonstrava inicialmente incipiente. Diversos pesquisadores, como Gray e Du Fay, já observavam que nos processos de transmissão de eletricidade por distâncias consideráveis, à medida que as porções do fio de barbante através do qual a eletricidade era transmitida se afastavam da fonte da eletricidade, menos intensos eram os efeitos, indicando assim que as

propriedades elétricas dependiam da distância de modo inverso, isto é, quanto maior era a distância menor eram os efeitos elétricos.

A partir da segunda metade do século XVIII, na consolidação da eletricidade como um conhecimento nos moldes exigidos pela modernidade, temos diversos movimentos distintos, tanto no plano da materialidade da pesquisa, com os diversos constructos acima elencados, quanto no plano da elaboração conceitual, com crescente sintetização do saber e de sua crescente carga de abstração, bem como da incorporação de diversas classes de fenômenos antes tidos como não elétricos.

No refinamento material dos artefatos percebe-se dois movimentos distintos, porém complementares. Se de um lado há esforços no aperfeiçoamento técnico da máquina elétrica e da Garrafa de Leyden com o intuito de produzir e armazenar eletricidade de intensidade cada vez maior, por outro lado há também a elaboração de artefatos materiais altamente sensíveis capazes de denunciar a presença de efeitos elétricos de baixíssima intensidade induzidos pela presença de um corpo eletrizado na vizinhança de outros corpos não eletrizados. Esses diversos artefatos permitiam, com pouco esforço, observar efeitos elétricos infinitesimais.

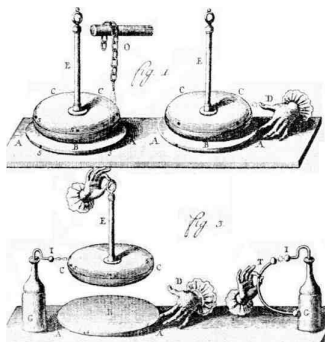
Esses experimentos com indução possibilitaram, por volta de 1763, a elaboração do eletróforo, pelo sueco Johan Carl Wilcke, um artefato utilizado no estudo da eletricidade e que consiste de dois discos metálicos planos, um disco grande coberto com lacre ou resina e outro disco de tamanho ligeiramente menor que o disco anterior, tendo uma alça de isolamento no centro. Esses dois discos são colocados de modo simétrico, sendo que o disco maior ficava apoiado sobre uma superfície enquanto o disco menor é suspenso, sendo que os centros dos discos são previamente alinhados. Quando o lacre ou a resina é eletrizada e o disco removível aproximado do disco maior, percebia-se um movimento vertical desse disco em direção ao disco suspenso (MEYER, 1972).

Antes da proposição do eletróforo todo e qualquer fenômeno de eletrização de corpos que não apresentavam as propriedades ditas elétricas era feito através do atrito entre corpos, seja por ação humana em contato direto com os objetos, seja mediada pela máquina elétrica, ou quando não pela transferência de eletricidade de uma garrafa de Leyden para o corpo. O eletróforo oferece uma reestruturação do pensamento acerca da eletricidade por duas implicações básicas.

A primeira delas é que o eletróforo inaugura uma nova forma de eletrizar os corpos, se com os meios até então convencionais era preciso o atrito e/ou o contato entre o corpo a ser eletrizado e o corpo com a eletricidade, agora era possível eletrizar um corpo

sem quaisquer contatos ou atritos entre eles. Com o eletróforo, ao aproximar um disco do outro, estes se atraíam, ao afastá-los a propriedade elétrica deixava de ser manifestada, mas com um simples toque no disco a propriedade deixava de ser transitória e ficava permanentemente no corpo.

Figura 10 Eletróforo.



Fonte: (MARTINS, 2008, p. 826)

Artefato utilizado no estudo dos fenômenos de indução elétrica. Na parte superior da figura estão representados: a plataforma isolante na qual o disco maior é colocado de modo que a eletricidade não seja transmitida para a sua vizinhança (A), o disco maior coberto de resina (B), o disco menor (C), a alça de isolamento. Na parte inferior da figura representa um procedimento eficaz para a obtenção de um disco previamente eletrizado sem a produção de atrito, onde o disco menor é eletrizado através da garrafa de Leyden, aproximado do disco maior, que terá eletricidade induzida, quando um experimentador toca no disco maior, este passa a manifestar as propriedades elétricas de modo permanente.

A segunda inovação como consequência da interação dos sujeitos com o instrumento eletróforo ocorre no plano teórico ou conceitual. Na segunda metade do século XVIII, a ideia da eletricidade como sendo constituída por dois fluidos mecânicos já estava consolidada de modo que uma grande classe de fenômenos era satisfatoriamente explicada a partir dessa elaboração conceitual. Assim os fenômenos de atração e repulsão elétrica eram devidos à natureza desses dois fluidos distintos. Além disso, a partir desse modelo conceitual, para que os processos de eletrização ocorressem era preciso que o fluido fosse transferido de um corpo para outro e isso só era possível no mínimo com o contato entre os corpos.

Com o eletróforo surge uma fragilidade teórica no modelo da eletricidade como dois fluidos distintos, vez que os corpos eram passíveis de eletrização sem que houvesse quaisquer contatos. Essas e outras dificuldades teóricas foram surgindo gradativamente ao passo que os sujeitos interagiam com os artefatos elaborados com o intuito exclusivo de se estudar a eletricidade.

Por volta de 1787, na revista **Philosophical Transactions** da Sociedade Real Inglesa, aparece um artigo atribuído a Abraham Bennet no qual consta uma descrição de

um dispositivo conhecido como eletroscópio de folhas. Por indução, esse artefato tinha a capacidade de diagnosticar se um corpo estava eletrizado, bem como, de modo qualitativo, indicar a intensidade dessa eletrização. O eletroscópio de folhas era construído com uma folha delgada metálica com formato retangular, possivelmente ouro, tendo seu terço médio apoiado na extremidade inferior de uma haste metálica, de modo que as duas extremidades da folha ficam voltadas para baixo e em contato entre si. Esse sistema, objetivando a não interação ou perturbação de elementos da vizinhança, era montado no interior de uma garrafa de vidro vedada, sendo que a extremidade superior da haste metálica se encontrava na parte externa da garrafa. Ao aproximar um corpo qualquer da parte superior da haste metálica, caso este esteja eletrizado, observa-se que as extremidades da folha de ouro antes em contato, afastam-se, sendo que a distância relativa entre elas é diretamente proporcional à intensidade da eletrização do corpo. Caso o corpo não esteja eletrizado, as folhas de ouro são indiferentes à aproximação do corpo em relação à haste metálica.

**Figura 11** O eletroscópio de folhas de Bennet



Eletroscópios de folhas de ouro de Bennet.

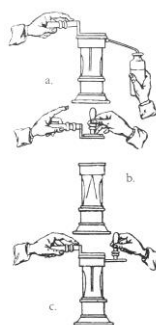
Fonte: (MEDEIROS, 2002, p. 359)

Fotografia de réplicas históricas. A folha de ouro se encontra no interior da garrafa de vidro, suspensa por uma haste metálica a partir de seu ponto médio de modo que duas porções idênticas dessa folha ficam pedentes devido à interação gravitacional. A outra extremidade da haste de metal fica na parte externa da garrafa, sustentando uma esfera metálica.

O eletroscópio de folhas é um artefato extremamente sensível à eletricidade vez que a no interior da garrafa, usando uma bomba de pressão, muito utilizada no século XVIII, poderia ser feito vácuo, de modo que alguns movimentos atrativos ou repulsivos que antes poderiam ser interpretados como o resultado de interações com o ar ou com quaisquer outros fluidos que não o fluido elétrico, não cabiam mais nos modelos explicativos. O uso do eletroscópio de folhas foi tão difundido tanto no espaço (continente europeu) quanto no tempo, que diversos livros didáticos de Física tanto em nível médio quanto em nível superior possuem seções tratando deste artefato.

Na atmosfera intelectual da elaboração de diversos artefatos voltados exclusivamente para o estudo da eletricidade, Abraham Bennet, no mesmo tempo que propôs o eletroscópio de folhas, também apresenta à comunidade de intelectuais europeus o **dobrador elétrico**, um dispositivo que por indução era capaz de obter uma grande eletricidade a partir de uma pequena eletrização (MEYER, 1972). O dobrador elétrico é constituído por três placas metálicas distintas, sendo que uma delas é montada na parte superior de um eletroscópio de folhas e as outras duas são móveis e deve possuir alças de manuseio de modo a preservar a eletricidade nelas contidas.

Figura 12 O dobrador elétrico



Fonte: (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2000) Disponível em <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/bennet.html> acessado em 24.11.2019

- a) Uma eletricidade pequena é posta no sistema constituído pela placa presa ao eletroscópio e pela placa central, sendo que posteriormente a placa central é afastada do eletroscópio
- b) Quando a placa central é afastada do eletroscópio ocorre uma separação das folhas do eletroscópio, e a placa superior é usada como eletróforo sobre a placa central. Quando esta é posicionada sobre aquela e tocada pelo operador, uma cópia invertida da eletricidade na placa central aparece na placa superior
- c) Quando as três placas são justapostas no eletroscópio e tocadas pelo operador, a eletricidade na placa central e no eletroscópio são duplicadas. Os processos b e c podem ser repetidos inúmeras vezes.

O dobrador elétrico assim como o eletroscópio de folhas trouxe diversas dificuldades teóricas ao modelo teórico e explicativo da eletricidade como sendo dois fluidos vez que sendo a eletricidade um fenômeno devido a dois fluidos mecânicos, deveria atender às condições exigidas pelas equações de Bernoulli, propostas ainda na primeira metade do século XVIII. Uma característica fundamental dessas equações é a conservação da massa do fluido, isto é, a conservação total da quantidade de fluido presente em um dado recipiente. Com o dobrador elétrico dobrava-se a eletricidade, aumentava-a, mas não havia nenhuma fonte de onde se tirar o fluido elétrico para aumentar a eletricidade no eletroscópio. Assim o modelo da eletricidade como sendo dois fluidos distintos carecia de uma revisão de modo a conformar os diversos conhecimentos factuais oriundos da interação com os instrumentos.



O estudo dos fenômenos de eletrização por atrito, contato e indução com o uso de diversos instrumentos proporcionou a maturação de diversas ideias em eletricidade de modo a possibilitar a elaboração de artefatos passíveis de serem utilizados com o objetivo de se realizar operações de medições. Dentre esses instrumentos podemos destacar o eletrômetro de Nollet, o eletrômetro de quadrante proposto por William T. Henley, por volta de 1772, e as balanças elétricas propostas por Daniel Gralath, de Danzig, Cavendish e Coulomb.

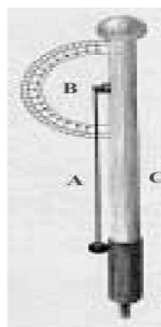
Uma distinção essencial entre eletroscópios e eletrômetros identificam esses como artefatos capazes não só de indicar se um corpo está ou não eletrizado como também é capaz de fornecer informações quantificadas acerca de uma ou mais grandezas físicas associadas aos fenômenos elétricos em questão, como por exemplo uma distância ou um ângulo. Os eletroscópios por sua vez seriam instrumentos que possuíam unicamente a capacidade de diagnosticar a presença de eletricidade. Assim os eletrômetros podem ser compreendidos como todo e qualquer eletroscópio que possuam alguma escala graduada (MEDEIROS, 2002), fornecendo a possibilidade de se obter informações quantitativas acerca de algumas características dos fenômenos elétricos em estudo. Nesse sentido, os artefatos como o perpendicular, o versório e diversos outros instrumentos elaborados pelos eletricistas como Gray, Du Fay, Hauksbee e outros, podem ser encarados como eletroscópios.

Jean Antoine Nollet (1700-1770), foi aprendiz de Du Fay durante alguns anos, de 1731 ou 1732 até ao redor de 1735. Em 1747 Nollet apresentou um aperfeiçoamento do eletroscópio de Du Fay. Os fios abertos na forma de um V invertido estavam ligados diretamente ao corpo carregado. Uma lâmpada iluminava os fios e projetava suas sombras sobre uma tela graduada na qual se podia ler o ângulo de abertura dos fios. Isto permitiu uma grande precisão na determinação destes ângulos, já que a tela e o observador poderiam ficar distantes do eletroscópio, sem afeta-lo durante a leitura. O eletrômetro permitiu o estabelecimento de uma proporção matemática entre grandezas elétricas e espaciais (MEYER, 1972)

Com maior frequência de aparição a partir das décadas finais do século XVIII, os eletrômetros, como o de Henley, patrocinam o início da matematização da teoria da eletricidade. É importante destacar que os pensadores desse tempo realizavam diversas operações de medições sem, contudo, terem uma ideia clara do que se estava medindo e por qual motivo as medidas apresentavam os valores tabulados (MEDEIROS, 2002).

O eletrômetro quadrante, por exemplo, confeccionado com uma esfera suspensa no centro de um arco graduado (MEYER, 1972), fornecia um valor angular para um dado deslocamento da esfera quando da interação por indução desta com algum corpo eletrizado. A partir desse valor, efetuando operações matemáticas elementares é possível encontrar o valor do deslocamento da esfera.

Figura 13 Eletrômetro de Richmann



Eletrômetro de quadrante.

Fonte: (MEDEIROS, 2002, p. 358)

Esse artefato possivelmente é um aperfeiçoamento técnico composto apenas pelo transferidor conectado a uma linha. O aperfeiçoamento se deu com a colocação da esfera na extremidade da linha, o que melhorou consideravelmente o desempenho do eletrômetro, vez que o formato esférico dificultava a perda da eletricidade.

Um dispositivo muito importante para o estudo quantitativo da eletricidade foi a balança elétrica, proposta por Daniel Gralath, de Dantzig (MEDEIROS, 2002), e que possivelmente foi muito importante para a proposição da balança de torção, por Cavendish e pelo francês Charles Augustin de Coulomb (CAJORI, 1962). John Michell, cujo nome foi mencionado anteriormente em conexão com ímãs, descreveu anteriormente uma balança de torção que Cavendish usou para determinar a densidade média da Terra. Coulomb usou o instrumento para propor as leis dos quadrados inversos que modelizam o comportamento de corpos magnetizados ou eletrizados. Essa lei havia sido anunciada para o magnetismo por Johann Tobias Mayer em Gottingen, em 1760, e para eletricidade por Cavendish, em 1762, em cada caso com poucos elementos teóricos e materiais capazes de evidenciá-la como um modelo teórico explicativo consistente (MEYER, 1972).

Ainda na primeira metade do século XVIII, Le Roy e d'Arcy propuseram o eletrômetro-aerômetro, um instrumento capaz de relacionar uma força mecânica de equilíbrio de um corpo imerso em fluido, um aerômetro<sup>42</sup>, com o seu equivalente elétrico.

---

<sup>42</sup> O termo aerômetro faz referência a instrumentos utilizados para se determinar a massa ou a densidade de gases confinados em recipientes rígidos, mas logo também passou a designar as medidas de densidades de líquidos em relação ao ar ( $d \approx 1,2 \text{ g/L}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ). (OLIVEIRA, 2013)

O artefato era constituído de um corpo capaz de flutuar, posicionado na extremidade de uma haste, sendo que na outra extremidade dessa haste se colocava um prato metálico. Esse sistema era submerso na água, de modo que só o prato ficava visível. Ao aproximar desse sistema um segundo prato, ligado a uma máquina elétrica, por indução elétrica, o aerômetro emergia. Colocando-se pesos sobre o prato, conseguia-se restituir o instrumento à sua posição original (MEDEIROS, 2002).

O procedimento relatado acima é um forte elemento de aproximação do modelo teórico explicativo da eletricidade com os modelos matematizados típicos da mecânica clássica. Se antes havia uma ideia sem bases materiais consistentes o suficiente para se afirmar que a eletricidade era de fato devido aos fluidos sutis ou mesmo aos fluidos mecânicos clássicos, agora havia uma correspondência não só matemática como também física entre a força peso dos corpos postos sobre o prato e a interação elétrica. Nesse sentido o que antes era acenado como uma ideia sem fundamentação, passa a ter elementos materiais capazes de aproximar a eletricidade da mecânica clássica.

Essa aproximação possui um conjunto complexo de ideias, com vários matizes teóricos, uma pluralidade inicial de modelos teóricos explicativos, combinando diversos elementos culturais com a então racionalidade característica da ciência moderna. Desse modo todo o ferramental matemático oriundo da hidrostática e da hidrodinâmica precisava ser transposto para a teoria da eletricidade, precisava ser interpretado, ressignificado. Reiteramos que não se trata de uma analogia tal como acontece nos livros elementares de ensino superior, antes é a própria teoria que se insinua de tal forma que a eletricidade fora concebida inicialmente como um fluido (MORAIS, 2014) (WHITTAKER, 1951).

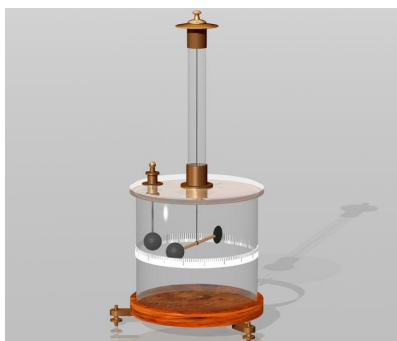
Na constituição de uma teoria física, historicamente, por falta de modelos mentais a partir dos quais seja possível pensar o objeto a ser apreendido e suas relações com os outros objetos já conhecidos, é frequente lançar-se mão do pensamento analógico, isto é, realizar operações mentais de aproximações sucessivas a partir do background à disposição e que constitui outras teorias já consolidadas (BUNGE, 1974).

É nesse contexto que Coulomb propõe uma relação matemática para a ideia de força elétrica como sendo esta proporcional ao inverso do quadrado da distância entre dos corpos que interagem eletricamente. (MEYER, 1972). Aqui temos uma forte correlação analógica com a mecânica clássica no contexto da interação gravitacional. Na segunda metade do século XVII, Isaac Newton já havia proposto que a força de atração gravitacional entre dois corpos é diretamente proporcional ao produto de suas massas e

inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa. A assertiva de Newton foi totalmente coerente com as atividades experimentais de Cavendish, que com o uso de uma balança de torção, chegou aos resultados previstos pelo modelo teórico de Newton.

É interessante observar que tanto a gravidade quanto a eletricidade e o magnetismo possuem uma modelização a partir do inverso do quadrado da distância, sendo essas duas últimas modelizações foram elaboradas por analogia com a primeira. Outro ponto que merece destaque é que os fenômenos ora em tela são satisfatoriamente descritos por essas modelizações, mas não há uma explicação plausível, fundamentada em elementos materiais consistentes capazes de abarcar a factualidade dessas leis.

Figura 14 Balança elétrica de torção



Fonte: (REDE OMNIA) Disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/charles-coulomb.htm> Acessado em 24.11.2019

Balança de torção elétrica proposta por Charles August Coulomb para o estudo da proporção entre força elétrica e o inverso do quadrado da distância entre dois corpos eletrizados

A balança elétrica de torção com a qual Coulomb trabalhara para elaborar a lei do inverso do quadrado da distância para a força elétrica, basicamente era constituída por um fio suspenso na vertical fixo na sua extremidade superior e com uma haste horizontal na sua extremidade inferior. Essa haste, por sua vez, tinha em suas extremidades duas esferas metálicas. Para evitar as perturbações devido aos movimentos de massas de ar e demais efeitos atmosféricos, esse sistema era posto no interior de uma garrafa de vidro. No terço medial da garrafa havia uma escala graduada, ao longo de toda a circunferência dessa garrafa, capaz de quantificar o deslocamento das esferas presas à haste. Na vizinhança desse sistema era colocado uma outra esfera. Quando as esferas eram eletrizadas, elas se deslocavam ao longo do plano representado pela haste metálica, de modo a se ter uma aproximação ou um afastamento das esferas da haste em relação a outra esfera, segundo a natureza da eletricidade presente na atividade. A partir desses deslocamentos, de modo análogo à gravitação universal, é possível se obter a dependência do movimento em relação ao inverso do quadrado da distância entre as esferas.

As inovações durante o século XVIII não se deram apenas no plano da materialidade e no plano conceitual referente aos estudos em eletricidade. Diversos outros estudos foram efetivados nesse tempo, como os de Georg Christoph Lichtenberg, professor de filosofia experimental em Göttingen, que em 1777, obteve diversas figuras quando pós finos, como esporos de licopódio, eram eletrificados e polvilhados sobre superfícies eletrificadas com o tipo oposto de eletricidade. As partículas se organizavam em belas configurações, semelhantes a penas quando a eletricidade era positiva e semelhantes a estrelas quando a eletricidade era negativa. Por volta de 1781 Lavoisier mostrou que a eletrização poderia ocorrer tanto em sólidos como em líquidos, onde esses últimos eram convertidos em gases. As propriedades magnéticas do cobalto, do bismuto e antimônio foram relatadas em 1778 por Sebald Justin Brugmans da Holanda (MEYER, 1972). Nesse contexto, diversos conhecimentos em eletricidade foram sendo gradativamente incorporados a um corpus de saber que veio posteriormente a constituir a eletroquímica.

No trabalho de documentação historiográfica, Joseph Priestley (1733-1804), muito conhecido por seus trabalhos com o oxigênio, realizou uma quantidade considerável de pesquisa elétrica e publicou o primeiro livro de história da eletricidade, **A História e Estado Atual da Eletricidade**, em 1767, com 736 páginas,. (MEYER, 1972).

Durante a longa duração da qual o presente texto se ocupa, a eletricidade deixou de ser um curioso e misterioso fenômeno, sobre o qual nada se sabia, para ser o objeto de maior interesse científico, principalmente no século XIX. A longa lista de experimentadores, já mencionada, transformou o conhecimento elétrico de uma curiosidade natural em uma ciência moderna. Não obstante a incorporação de diversos saberes, a explicação de uma gama extraordinária de fenômenos, ainda não havia uma única aplicação prática de eletricidade e nem uma explicação da teoria a partir de princípios fundamentais genéricos. Um importante passo nessa direção se deu com a incorporação dos fenômenos atmosféricos quando de tempestades à teoria da eletricidade, empreendimento intelectual por uma segunda geração de eletricitistas do século XVIII, principalmente por Benjamin Franklin.

### **3.4 Controvérsias entre as ideias de eletricidade como um fluido único e da eletricidade como dois fluidos distintos**

Benjamin Franklin (1706-1790), da Filadélfia, Estados Unidos, foi um ianque, com fortes relações com a Inglaterra, que elaborou diversos refinamentos conceituais em eletricidade bem como propôs diversos procedimentos capazes de possibilitar a correlação entre os fenômenos atmosféricos quando das tempestades com a teoria elétrica. Foi uma pessoa que teve uma fama construída historicamente tanto por seu envolvimento político com o processo de emancipação da colônia britânica quanto por sua relação com os estudos dos fenômenos do raio, relâmpago e trovão a partir da teoria da eletricidade.

Muitos dos conhecimentos apontados por Franklin já constavam de pesquisas anteriores, tanto na teoria quanto no experimento. Mas também apresentou diversas propostas originais, como diversos procedimentos práticos, capazes de evidenciar o caráter elétrico do raio e do relâmpago e algumas simplificações no modelo teórico explicativo proposto por Du Fay.

Franklin começou seus trabalhos em eletricidade por volta de 1746, após assistir algumas apresentações de alguns eletricitistas que tinham o propósito de convencer os populares acerca do poder da ciência como alternativa viável como o conhecimento privilegiado da modernidade. Nessas apresentações era explorado o caráter fantástico tanto dos fenômenos elétricos quanto dos fenômenos magnéticos, de modo que muitos resultados experimentais eram apresentados deslocados de suas possíveis explicações, um verdadeiro espetáculo para os olhos. Após uma dessas conferências, iniciou a leitura do livro de William Watson, o qual foi adquirido junto com um pequeno kit de artefatos utilizados para a realização de algumas atividades experimentais (MEYER, 1972).

O médico e naturalista londrino William Watson (1715-1787); já havia proposto anteriormente que a eletricidade seria constituída por apenas um fluido, essa ideia foi melhor desenvolvida por Benjamin Franklin (MORAIS, 2014), que forneceu uma base material, a partir de diversos procedimentos experimentais, capaz de sustentar tal ideia.

Um ano depois do contato com a obra de Watson, Franklin produzia diversos conhecimentos originais em eletricidade, como a proposta de motor eletrostático, constituído de duas hastes metálicas postas em lados diametralmente opostos a uma roda isolante. Nesse motor eletrostático a roda era colocada de modo que girava entre duas outras hastes estacionárias, com uma folga muito pequena entre as duas. Quando as hastes estacionárias eram eletrizadas, uma com eletricidade de um tipo e a outra com eletricidade

de outro tipo, a roda girava. As hastes da roda eram atraídas, e quando se aproximavam das hastes estacionárias, uma faísca era gerada. O resultado era foi que as hastes se repeliam, fazendo a roda girar.

Em outro procedimento experimental, quando uma garrafa de Leyden é carregada, para garantir uma maior eficácia do procedimento, reatou que o revestimento externo deve ser conectado ao solo ou a algum outro corpo equivalente. Um fio de linho, suspenso perto do revestimento externo de uma garrafa de Leyden carregada, não era afetado até que o equilíbrio fosse perturbado, trazendo um dedo próximo ao corpo metálico conectado ao revestimento interno. Franklin também relatou que, aparentemente, a eletricidade mantida por uma Garrafa de Leyden estava no vidro e não nos revestimentos ou na água. Para Franklin, as paredes internas e externa da garrafa apresentavam a mesma quantidade de fogo elétrico e que este não atravessa a parede da garrafa (ROCHA, 2002).

Ele defendeu esse enunciado a partir de uma atividade na qual usou uma garrafa onde a água formava o revestimento interno. Quando a água foi despejada, ele percebeu que a água não apresentava quaisquer propriedades elétricas. Ao encher a garrafa com água fresca, a garrafa foi descarregada. Franklin realizou experimentos semelhantes usando placas de vidro com revestimentos removíveis (MEYER, 1972), refinando as elaborações conceituais acerca da ideia da eletricidade como sendo um fluido único.

Ora, já fazia parte do conhecimento ordinário da cultura intelectual europeia típica do século XVIII o fato de que ao se atritar dois objetos específicos, como por exemplo o vidro e um pedaço de pano, ambos apresentavam a propriedades de atrair corpos. Como uma possível explicação para esse fenômeno Franklin supôs que o vidro recebeu uma quantidade de eletricidade de mesma intensidade que a quantidade de eletricidade recebida pelo pano, mas oposta em espécie. Supôs também que todos os corpos continham eletricidade e que, quando duas substâncias diferentes são esfregadas, uma recebe um excesso de eletricidade e a outra uma deficiência. A partir dessas suposições, ele argumentou ainda que havia apenas um tipo de eletricidade, em vez de dois, como Du Fay e outros supunham (MEYER, 1972). Como já fora problematizado anteriormente Du Fay e outros propunham a ideia de dois fluidos diferentes e um corpo que não manifestava propriedades de atração ou repulsão tinha as mesmas quantidades desses dois fluidos, de modo que a eletrização seria um desequilíbrio nessas quantidades (ROCHA, 2002).

Para explicar a atração e a repulsão elétrica, Franklin propôs que a eletricidade sempre repele a si mesma, ao passo que atrai a matéria que a retém; de modo que, um corpo com excesso de eletricidade repele um corpo com excesso de eletricidade e um

corpo com excesso de eletricidade atrai um corpo com deficiência de eletricidade. Assim, um corpo seria eletrizado de uma forma pelo excesso do fluido e de outra pela ausência desse fluido (MORAIS, 2014) Franklin foi o primeiro a supor que a eletricidade total seria conservada, tendo como desdobramento a ideia posterior que a carga elétrica não poderia ser criada ou destruída.

Para dar corpo à sua teoria da eletricidade como um único tipo de fluido, Franklin propôs um conjunto de diversas experiências, sendo que em uma delas duas pessoas se posicionavam em plataformas isoladas. Atrita-se o pano no vidro de modo que estes se eletrizam, uma pessoa toca no pano enquanto a outra toca no vidro. Quando essas duas pessoas aproximaram suas mãos, uma forte faísca passou entre a distância entre os dedos das duas pessoas e ambas são completamente descarregadas, mostrando que as eletricidades se neutralizaram. Outra demonstração do mesmo efeito foi feita pendurando uma bola de cortiça entre dois corpos metálicos de pequenas dimensões conectados aos revestimentos interno e externo de uma garrafa de Leyden. A bola vibrou entre os dois corpos metálicos até a garrafa de Leyden se descarregar completamente, de modo que os revestimentos da garrafa ficaram neutros (MEYER, 1972).

Assim, a partir das proposições de Franklin de 1747, os intelectuais europeus passaram a conviver de modo conflituoso com dois modelos explicativos que pretendiam dar conta dos fenômenos elétricos: o modelo do fluido único e o modelo dos dois fluidos distintos. Esse conflito só foi atenuado na primeira metade do século XX, com a proposição da ideia de uma partícula chamada elétron (MORAIS, 2014).

Tanto no caso do modelo da eletricidade como um fluido único quanto no modelo da eletricidade como dois fluidos distintos, os fluidos da eletricidade eram tinham massa, inércia, elasticidade e demais propriedades mecânicas dos fluidos clássicos. Nos dois casos também podemos encontrar elementos do que viria a ser no futuro o princípio da conservação da carga elétrica, vez que nelas não havia criação do fluido elétrico (ROCHA, 2002).

Também tanto um modelo quanto o outro apresentavam diversas dificuldades teóricas seja por não conseguir elaborar explicações satisfatórias para um dado fenômeno seja por manifestar uma fragilidade na explicação proposta para uma dada característica para uma classe geral de fenômenos. Um fenômeno que poderia ser satisfatoriamente explicado a partir de um modelo tinha dificuldades de ser explicado pelo outro, de modo que esses dois modelos coexistiram nos séculos XVIII, XIX e início do século XX.



A eletrização por atrito, por contato e por indução já era um saber constituído, sendo que facilmente os dois modelos davam conta de explicar a eletrização por contato ao passo que os processos de indução elétrica apresentavam diversas dificuldades em suas explicações. Quanto aos processos de eletrização por atrito, havia a dificuldade de se explicar porque o atrito eletrizava uns corpos e outros não e mesmo ainda que um dado processo um mesmo corpo estava com a eletricidade de um tipo e em outro processo apresentava eletricidade de outra natureza.

O modelo do fluido único apresentava uma fragilidade de explicação do fenômeno da repulsão entre corpos com deficiência de eletricidade, vez que pela teoria a deficiência de eletricidade produziria uma atração. Por volta de 1759, o filósofo natural alemão Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802), conhecedor do trabalho de Franklin, propôs a ideia de que dois corpos de matéria comum se repeliriam na ausência de eletricidade (MORAIS, 2014), isto é, que ao se retirar o fluido elétrico de dois corpos, eles manifestavam propriedades repulsivas entre si.

Aepinus, dentre outras coisas, no período de 1755 a 1759, realizou uma série de estudos sobre indução e polarização elétricas, explicitando seus resultados em um livro publicado em 1759. Além disso, inspirado no modelo do fluido para a eletricidade tentou um modelo análogo para o magnetismo (MORAIS, 2014).

O conflito entre os modelos teóricos mudou de direção quando da incorporação dos fenômenos atmosféricos à teoria da eletricidade como um fluido único. Não só isso, como também a constituição de uma nova ordem mundial, onde o eixo econômico se desloca do Mediterrâneo para o Atlântico, favorecendo economicamente a Inglaterra em detrimento da França, favorece a produção de ciência nos moldes modernos do empirismo inglês.

### **3.5 A eletricidade atmosférica**

No ano de 1753, Franklin montou um experimento no qual um sino acionado por eletricidade atmosférica. Ele pôs uma haste metálica isolada na parte superior de um imóvel, conectada a um dispositivo no qual havia dois sinos, com um chocalho levemente suspenso e isolado entre eles. Cada sino foi colocado nas extremidades da haste, sendo que um deles ficou na parte superior em contato com o ar e o outro na parte inferior. Quando a haste ficava suficientemente eletrizada, o badalo era atraído primeiro para um sino e depois para o outro (MEYER, 1972).

Com esse dispositivo, a crença de longa duração de que o relâmpago e o trovão tinham uma natureza elétrica encontrou elementos materiais capazes de fortalecer tal crença como conhecimento científico moderno. Além disso, esse procedimento experimental inaugura uma nova rotina de realização de diversos outros experimentos nos quais se buscava relacionar os conhecimentos disponíveis de então sobre eletricidade com os fenômenos atmosféricos observáveis, principalmente quando das tempestades com raios relâmpagos e trovões.

Em um desses experimentos, Franklin conseguiu carregar uma garrafa de Leyden a partir de nuvens de tempestades, para isso, montou um suporte de madeira no qual pôs uma longa haste metálica posicionada verticalmente, sendo que a extremidade inferior dessa haste ficava no interior de uma garrafa de Leyden e a sua extremidade superior em contato com a atmosfera. Ao fim de uma tempestade repleta de relâmpagos e trovões a garrafa estava eletrizada. Na França, Thomas François Dalibard e Delor, por meio de hastes finas e longas conseguiram eletrizar garrafas de Leyden a partir das nuvens de chuva, reproduzindo o experimento de Franklin e obtendo resultados semelhantes. Cantor e Wilson, na Inglaterra, também se propuseram a reproduzir tais experimentos chegando também a resultados semelhantes (MEYER, 1972).

Continuando os estudos em eletricidade atmosférica, Franklin propôs que havia uma similaridade entre o comportamento de algumas nuvens e o comportamento de alguns corpos eletrizados, tanto com eletricidade de uma natureza como de outra natureza e que uma nuvem poderia mudar a natureza de sua eletricidade. Seus estudos também indicaram que a eletricidade da atmosfera possui alta intensidade e que esta não ocorre somente em dias chuvosos como também pode se manifestar em dias ensolarados e com nuvens brancas.

O francês Pierre Lemonnier (1675 - 1757) e o italiano Giovanni Battista Beccaria (1716 - 1781), entre 1752 e 1753, realizaram uma série de experimentos em eletricidade atmosférica, usando pipas e hastes metálicas. Eles conseguiram eletrizar garrafas de Leyden na maioria das vezes, principalmente com nuvens de chuva. Geralmente tinham pouco sucesso durante a noite, mas aumentava muito depois do nascer do sol e diminuía após o pôr do sol. Beccaria publicou o livro **Treatise Dell Elettricismo Naturale ed Artificiale** em 1753.

Beccaria e outros estudiosos observaram que o ar na vizinhança de uma nuvem também se eletrizava. Em alguns experimentos era possível demonstrar que o ar em uma sala adquiria o mesmo tipo de eletricidade que um corpo carregado naquela sala e que a

divergência de dois fios ligados ao corpo carregado diminuía gradualmente conforme o ar se tornava eletrificado, mesmo que a carga no corpo fosse mantida. por uma máquina elétrica. Beccaria também desenvolveu alguns estudos relacionando a eletricidade com a água, onde foi capaz de produzir faíscas sob a água, sendo que estas eram acompanhadas pela produção de bolhas.

Com os experimentos relacionados com a eletricidade atmosférica, com as atividades experimentais que possibilitaram a proposição da ideia da eletricidade como um fluido único e com a elaboração de instrumentos utilizados no estudo dos fenômenos elétricos capazes de fornecer informações quantitativas, temos que a partir da segunda metade do século XVIII, as atividades experimentais em eletricidade vão se tornando gradativamente mais complexas, mais refinadas, incorporando fenômenos antes não incorporados às teorias. Essas novas posturas tanto no plano material como no plano da elaboração conceitual denunciam uma mudança qualitativa na percepção dos fenômenos elétricos patrocinada dentre outras, mas principalmente pela interação dos sujeitos com os instrumentos desenvolvidos com o intuito único e exclusivo de se estudar a eletricidade.

Os conhecimentos acerca da produção intelectual de Benjamin Franklin em eletricidade foram preservados principalmente em diversas cartas enviadas a diversos estudiosos do século XVIII, dentre eles Ebenezer Kinnersley. Nesses escritos, estavam sua interpretação da eletricidade como fluido único, diversas propostas de procedimentos experimentais tanto levadas a cabo pelo próprio Franklin como também outras atividades experimentais somente sugeridas. Franklin deixou também diversos outros documentos escritos sobre suas ideias sobre a eletricidade das tempestades e seus métodos propostos para estudá-los (MORAIS, 2014). Tanto as cartas com os outros documentos escritos movimentaram intensamente o cenário intelectual europeu no que se refere ao estudo dos fenômenos elétricos. Assim como a novidade da garrafa de Leyden, a maioria dos procedimentos experimentais propostos por Franklin fora reproduzidos em diversos países, principalmente aqueles relacionados à eletricidade atmosférica. Em uma das reproduções desses experimentos Georg Richmann (1711-1753) morreu.

### **3.6 A teoria da eletricidade entre o Galvanismo e a pilha voltaica**

A segunda metade do século XVIII foi muito importante para o desenvolvimento da teoria da eletricidade pelos diversos elementos já indicados, mas também e

principalmente pela elaboração de artefatos capazes de armazenar a eletricidade. Até então, todos os fenômenos elétricos conhecidos originavam-se exclusivamente do atrito, contato ou indução, e seus efeitos além de apresentarem baixa intensidade também eram de natureza transitória (MEYER, 1972).

Principalmente depois do século XVIII, diversos artefatos inéditos foram fabricados com a capacidade de proporcionar, por meios químicos, eletricidade de modo constante. As quantidades de eletricidade disponíveis das várias máquinas elétricas em uso e de seus aperfeiçoamentos ainda eram mínimas e, portanto, não apresentavam os efeitos químicos, térmicos e magnéticos característicos da atividade elétrica, eram difíceis de observar, embora todos eles, possivelmente, tivessem sido observados com baixa intensidade (MEYER, 1972). Possivelmente, em numerosas ocasiões, fenômenos elétricos foram observados, mas não reconhecidos e nem explicados como tais, e somente depois da recorrência deles é que foram incorporados à teoria nascente. Tal foi o caso das observações de Galvani e Volta.

Do final do século XVIII até o início do século XX havia três corpus de saber distintos e relativamente independentes, produzindo diversos conhecimentos que na primeira metade serão sintetizados na então teoria do eletromagnetismo: a eletricidade, o galvanismo e o magnetismo (ROCHA, 2002). O que era entendido como eletricidade muito próximo do que hoje é entendido como teoria eletrostática, já o galvanismo tinha uma híbrida relação entre o que é conhecido atualmente como química e como eletrodinâmica, e o magnetismo era um corpus de saber independente, mas que em um momento ou em outro tinha suas correlações analógicas seja com a teoria da eletricidade seja com a mecânica clássica.

Paralelo à constituição da teoria da eletricidade, diversos estudos acerca das propriedades elétricas e magnéticas de alguns materiais foram elaborados do século XVI até o século XIX. Esses estudos se iniciam com a compilação de materiais que apresentavam ou não propriedades elétricas quando atritados, culminando com a proposição da série tribo elétrica. Com o aprofundamento do estudo das propriedades elétricas e magnéticas de alguns materiais teremos a constituição de um novo corpus de saber. Assim temos que os estudos de Lavoisier, por volta de 1781, indicaram que a eletrização poderia ocorrer tanto em sólidos como em líquidos, onde esses últimos eram convertidos em gases. Priestley, em seu livro **A História e Estado Atual da Eletricidade**, identifica algumas propriedades elétricas importantes no carbono.

O sueco Johann Georg Sulzer, publicou em Berlim, por volta de 1762, um trabalho relatando que metais como prata e chumbo quando mantidos juntos na língua, produziam um sabor como o sulfato de ferro, e quando eram colocados na língua, um em cima e outro embaixo nenhum sabor era sentido até que as bordas externas dos metais entrassem em contato (MEYER, 1972).

Por volta de 1753, o professor de anatomia, cirurgia e medicina da Universidade de Gottingen, Albrecht von Haller, publica um texto sobre a teoria da sensibilidade e da irritabilidade, na qual propunha que a sensibilidade era uma propriedade intrínseca às terminações nervosas ao passo que a irritabilidade estava associada aos músculos. Nesse texto Haller desenvolve as ideias de seu professor Herman Boerhaave (1668-1738), que defendia que o elemento vital seria fluido sutil ou espírito animal, com propriedades específicas e natureza material, mesmo que não produzisse aumento no tamanho do músculo (RAICIK, 2019).

Antes das proposições de Haller, uma longa tradição médica, religiosa e filosófica propunha que o elemento vital seria a alma ou o espírito, uma espécie de fluido sutil imaterial, sem massa e sem quaisquer outras propriedades materiais, mas que estaria no cérebro e de lá fluiria para as diversas partes do corpo sendo capaz de produzir os movimentos e as diversas sensações (RAICIK, 2019). A ideia da materialidade do fluido sutil responsável pela vida, proposta na atmosfera das pesquisas em eletricidade e em magnetismo, ambos também propostos como dois fluidos sutis materiais, apresentando, portanto, diversas propriedades mecânicas, leva diversos pesquisadores a concentrar esforços para diagnosticar a materialidade desse fluido vital.

Alguns estudiosos desse período passaram então a propor que o fluido vital teria uma natureza elétrica. Tommaso Laghi (1709-1764), médico e anatomista da Universidade de Bolonha, admitiu diretamente a possibilidade de que os espíritos animais tivessem uma natureza elétrica e que as contrações musculares fossem provocadas pela atração elétrica entre o nervo e o músculo, proporcionada pelo fluxo de fluido elétrico.

Ora devido a interação com a máquina elétrica e posteriormente com a garrafa de Leyden, alguns efeitos fisiológicos da eletricidade já eram bastante conhecidos. Ainda em meados do século XVIII, o italiano Leopoldo Marco Antonio Caldani relata atividades experimentais nas quais se obtém contrações dos músculos de um sapo morto sob a influência da eletricidade. Em 1752, já havia relatos de experimentos nos quais um músculo contraiu quando tocado em dois pontos, um dos quais era um nervo, com as

extremidades livres de um par de prata e cobre, e com as outras extremidades que foram unidas (MEYER, 1972).

Por volta do ano de 1770 foram desenvolvidos diversos estudos acerca da eletricidade manifestada por alguns peixes elétricos. As investigações de John Walsh (1726-1795), John Hunter (1728-1793) e Henry Cavendish (1731-1827) evidenciaram que os dispositivos de defesa de alguns peixes específicos, como os torpedos e as enguias, tinham natureza elétrica. Walsh, ao estudar o peixe torpedo, embora verificando a natureza elétrica de seus dispositivos de defesa, não conseguiu produzir faíscas elétricas, ao passo que no estudo com enguias, produziu uma pequena centelha (MEYER, 1972).

Os estudos que relacionavam a eletricidade animal com a teoria da eletricidade o faziam por analogia, de modo que era preciso encontrar bases materiais capazes de fortalecer essas correlações analógicas. É nesse contexto que Luigi Galvani (1737-1798), professor de anatomia na Universidade de Bolonha, desenvolve seus estudos, buscando uma explicação neuroelétrica para o movimento muscular, iniciando uma pesquisa sistemática em sapos e outros animais, amparada em um constante diálogo entre teorias, hipóteses e atividades experimentais (RAICIK, 2019).

### **3.7 Galvanismo e a pilha de Alessandro Volta**

Galvani, durante o ano de 1780, enquanto dissecava um sapo em seu laboratório, colocou-o na mesa perto de uma máquina elétrica na qual estava realizando um outro experimento. Notou que uma faísca era produzida, quando o bisturi tocava em alguma terminação nervosa do sapo. Outro fenômeno intrigante relacionado ao observado é que tocando em nervos específicos, as pernas do sapo se contraíam. Isso era elemento de causar espanto porque não havia conexão direta entre a máquina elétrica e o bisturi (MEYER, 1972).

Inicialmente Galvani não tentou explicar o fenômeno, mas reconheceu o fato de que as contrações eram devidas à eletricidade. Galvani tentou vários metais com resultados semelhantes. Também obteve resultados semelhantes usando uma garrafa de Leyden carregada, um eletróforo e mesmo com a eletricidade atmosférica. No curso desses experimentos com a eletricidade atmosférica, ele preparou vários pares de pernas de sapo suspensas por ganchos de cobre ou latão, conectadas a hastes metálicas semelhantes às usadas nos experimentos de eletricidade atmosférica realizadas por Franklin.

Esses estudos levaram a novos procedimentos experimentais nos quais usou ganchos e hastes de ferro, cobre, prata e estanho polidos. Ele estava convencido de que estava observando fenômenos elétricos biológicos e concluiu que os músculos ou nervos eram fonte de eletricidade. Ele continuou seus experimentos por onze anos antes de publicar suas observações, em 1792, no livro **De viribus electricitatis in motu musculari** (Comentários sobre o efeito da eletricidade nos movimentos musculares). Antes da publicação de seus experimentos, no entanto, outros sabendo do trabalho de Galvani repetiram os seus experimentos.

Mas Alessandro Volta (1745-1827), professor de história natural na Universidade de Pavia, acreditava que a fonte da eletricidade não era os nervos ou músculos, mas sim metais. Galvani, no entanto, mostrou que em suas experiências sobre a eletricidade animal era possível desprezar o uso de metais, visto que o contato de um dos nervos com a cobertura externa de um dos músculos era suficiente para causar contrações (MEYER, 1972). Essas duas interpretações para os fenômenos evidenciados pelas atividades experimentais em eletricidade animal fornecem elementos para uma ferrenha disputa intelectual entre Volta e Galvani que impulsionaria os estudos em eletricidade bem como evidenciaria diversas nuances intrínsecas à atividade intelectual europeia de finais do século XVIII e início do século XIX.

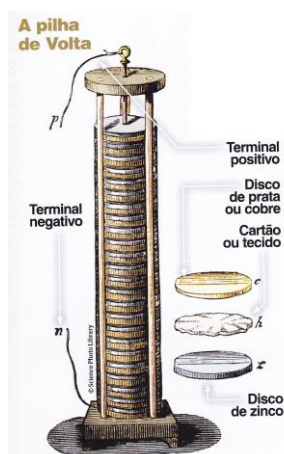
Galvani e Volta atraíram para si seguidores que apoiavam suas teorias e consideravam como ignorância e heresia as teorias do outro campo. O debate se aqueceu e nunca foi resolvido para as duas teorias, até a primeira metade do século XX. Assim como as duas propostas teóricas da eletricidade como um fluido único e da eletricidade como dois fluidos distintos, as propostas teóricas da eletricidade animal como sendo oriunda dos nervos e músculos e da eletricidade de origem não animal, mas de fatores inorgânicos, apresentavam diversas fragilidades teóricas bem como muitos elementos que as fortaleciam em um ou outro aspecto, isto é, as duas teorias tinham elementos que dificultavam tanto a sua adoção quanto o seu descarte como modelo teórico explicativo.

Tanto Galvani quanto Volta continuaram seus experimentos, mas Galvani morreu em 1798 de modo que a querela se aferreceu. Além da morte de Galvani, a obtenção de resultados práticos poderosos a partir das ideias de Volta, favoreceu a predominância desse modelo teórico explicativo em detrimento do modelo de Galvani. Giovanni Aldini (1762-1834), sobrinho e estreito colaborador de Galvani, publicou vários artigos sobre o assunto e se tornou o principal protagonista da causa de Galvani.

Por volta do ano de 1792, Volta elaborou um artefato, posteriormente denominado pilha de Volta ou pilha voltaica, capaz de armazenar eletricidade de modo bem mais eficiente que a garrafa de Leyden. Esse artefato era constituído em uma pilha cilíndrica, na qual havia primeiro um disco de zinco, depois um disco de feltro, papel ou couro, embebido em uma solução salina ou ácida diluída. em seguida, um disco de cobre, outro disco de zinco, outro bloco e assim em diante.

Somente em 1800 Volta apresenta seu artefato a seus pares, endereçando uma carta sobre o assunto à Royal Society de Londres. Nessa carta, Volta descreveu o comportamento da pilha como semelhante ao de uma Garrafa de Leyden carregada, mas diferentemente desta, a carga da pilha não dissipava, o que se configura então como uma grande inovação técnica. Quando os fios eram ligados às duas extremidades da pilha uma faísca era produzida. Volta considerou esse artefato como a prova material de sua alegação de que a fonte de eletricidade na experiência de Galvani estava no contato entre metais diferentes e não no músculo ou no nervo (MEYER, 1972).

Figura 15 A pilha de Volta



Fonte: (FANDOM, 2013) Disponível em [https://enciclopediaonline.fandom.com/wiki/A\\_primeira\\_pilha\\_el%C3%A9trica](https://enciclopediaonline.fandom.com/wiki/A_primeira_pilha_el%C3%A9trica) acessado em 06.12.2019

Esquema representando a pilha de Volta, indicando os terminais positivo e negativo bem como os materiais usados na confecção desse artefato.

Volta também montou o dispositivo conhecido como a coroa de copos de Volta, na qual tiras de cobre e zinco eram penduradas nas bordas dos copos e parcialmente embebidas em uma solução salgada ou ácida. A tira de cobre de um copo era conectada por um fio de arame à tira de zinco do próximo copo, e assim por diante. Quando se conectava a tira de zinco do último copo à tira de cobre do primeiro, uma faísca poderia ser obtida, como na pilha. (MEYER, 1972)



A eficiência da pilha voltaica impõe um importante problema teórico aos estudiosos da eletricidade. Historicamente a eletricidade poderia ser produzida por atrito, contato ou indução, de modo que na garrafa de Leyden, a eletricidade tinha origem externa. Na construção da pilha nenhum dos procedimentos de obtenção de eletricidade se tornam evidentes, de modo que era preciso a elaboração de modelo teórico explicativo capaz de dar conta da eletricidade contida na pilha voltaica.

Aparentemente, Volta acreditava que a eletricidade na pilha seria produzida pelo contato entre os metais diferentes, tal como o trabalho apresentado por Sulzer. Após a publicação do trabalho de Volta, a novidade ganha toda a Europa, sendo que os estudiosos em eletricidade logo se debruçaram sobre o problema teórico e replicaram a pilha. Dentre esses estudiosos, Humphry Davy propôs uma explicação para a eficácia da pilha: a eletricidade era devida à ação química e que a célula voltaica não operaria com água pura (MEYER, 1972).

### **3.8 O aprimoramento técnico da pilha elétrica e a constituição da ideia de corrente elétrica**

A interpretação de Humphry Davy e os trabalhos de Galvani e de Volta possibilitam tanto um aprofundamento nas teorias do magnetismo e da eletricidade como um impulsionamento da eletroquímica. No movimento de constituição da teoria eletromagnética temos inicialmente um primeiro desenvolvimento do magnetismo com o uso da bússola, depois um desenvolvimento da teoria da eletricidade com o uso de diversos instrumentos elaborados única e exclusivamente para se estudar a eletricidade, e depois, no final do século XVIII e início do século XIX, temos o impulsionamento e uma aproximação do magnetismo, com a eletricidade e com o corpus de saber que viria posteriormente a constituir a Química (ROCHA, 2002). Estudos em magnetismo desenvolvem mais lentamente que os em eletricidade, foram impulsionados pela pilha de Volta e dos estudos de Galvani, que foram os atores de uma controvérsia entre a viabilidade da corrente contínua e da proposta de um modelo teórico explicativo coerente (ROCHA, 2002).

Os conhecimentos elaborados por Galvani possibilitaram os estudos que vieram a compor a Eletrodinâmica, focando principalmente nos efeitos fisiológicos da eletricidade e nos fenômenos de sua condução ao longo dos mais diferentes materiais. Já a pilha voltaica forneceu eletricidade suficiente para se realizar decomposição de substâncias

compostas em seus elementos constituintes. Assim, no mesmo ano de publicação do trabalho de Volta, os ingleses. William Nicholson e Anthony Carlisle conseguiram realizar a eletrólise, isto é, a decomposição da água em seus constituintes oxigênio e hidrogênio. Para isso usaram uma pilha voltaica. Ainda por volta de 1800, William Cruikshank decompôs diversos sais por meios semelhantes.

Depois que Davy propôs que a célula voltaica possuía um caráter químico, outros experimentadores conseguiram decompor a água em seus elementos, desenvolveu-se um grande interesse na ação química da eletricidade. Berzelius de Gotland, na Suécia, entre 1802 e 1806, publicou vários trabalhos sobre suas pesquisas eletroquímicas

A partir dessas práticas estabeleceu-se que com a eletricidade é possível provocar reações químicas, e por extensão a sugestão de que as forças de coesão da matéria, as ligações químicas, poderiam ter natureza elétrica. Os estudos que levaram à consolidação da eletrolise e da eletroquímica permitiram o uso cotidiano e comercial da eletricidade.

Em 1801, Johann Ritter desenvolveu a ideia de que poderiam ser determinadas as pressões elétricas relativas produzidas por vários pares de metais, quando imersos em solução salina ou ácida. Volta concebeu a mesma ideia independentemente em uma data posterior, e a série ficou conhecida como série eletromotriz de Volta. Essas ideias indicavam que a noção de força eletromotriz já havia sido gestada, embora tenha decorrido um quarto de século para a enunciação das leis de Ohm (MEYER, 1972), onde a força eletromotriz não tem significação de uma força capaz de movimentar algo a partir da eletricidade.

A partir do século XIX, presencia-se uma intensa aceleração na produção de conhecimentos, com o fortalecimento da teoria, com uma matematização desta incorporando elementos do cálculo integral e diferencial, com a proposição de novos e cada vez mais requintados artefatos passíveis de uso em atividades experimentais, com a proposição da correlação entre eletricidade e magnetismo. Aqui também temos um grande desenvolvimento técnico e material da mecânica com a proposição de máquinas capazes de trabalhar usando a expansão térmica dos gases oriundos de combustíveis fósseis.

Assim como os outros artefatos, a pilha voltaica sofreu diversos aprimoramentos técnicos ao longo do século XIX. Cruikshank construiu uma pilha voltaica muito poderosa soldando juntos chapas do mesmo tamanho de cobre e zinco e usando essas placas bimetálicas como separadores entre compartimentos em uma armação de madeira revestida com piche. Nessa armação havia fendas nas quais as placas separadoras estavam

bem apertadas, e os espaços intermediários eram preenchidos com uma solução diluída de ácido sulfúrico. (MEYER, 1972)

Esta pilha voltaica produzia intensa eletricidade, com a qual era possível queimar fios de ferro, aquecer incandescer carvão e vaporizar folhas de ouro e prata. Os efeitos foram muito mais poderosos do que os das máquinas elétricas e das garrafas de Leyden. Embora essas pilhas voltaicas produzissem pequenas faíscas e poucos efeitos no sistema nervoso, produziram, no entanto, um aquecimento muito grande e efeitos químicos diversos e até então desconhecidos (MEYER, 1972).

Experimentos com as novas células voltaicas foram levados adiante em muitos lugares da Europa por um imenso conjunto de estudiosos. Davy, em sua primeira palestra na British Royal Institution, proferida em 25 de abril de 1801, discutiu a história do galvanismo. Em junho daquele ano, mostrou que a ação galvânica poderia ser produzida a partir de placas de um único metal em diferentes fluidos, que, no entanto, estavam em contato entre si. Nicholas Gautherot, em 1801, mostrou em seus trabalhos que quando a eletricidade de uma pilha voltaica era enviada através de duas placas de cobre em ácido sulfúrico, por um curto período estas placas tornaram-se capazes de fornecer uma eletricidade na direção oposta. Ritter, entre 1803 e 1805, replicou as pilhas voltaicas usando cobre, ouro e outros metais. Em 1802 Luigi Valentino Brugnatelli, e aluno de Volta, iniciou o uso da técnica posteriormente chamada de galvanização, com o uso da pilha voltaica. (MEYER, 1972)

Em 20 de novembro de 1806, Davy proferiu sua primeira palestra Bakedan perante a Royal Society, sobre o tema "Em algumas agências químicas de eletricidade", e assim possivelmente forneceu as bases para a teoria da ionização. Seguiu-se então experimentos nos quais Davy isolou sódio e potássio em 1807 e bário, boro, cálcio e estrôncio em 1808. (MEYER, 1972)

Os fundos para uma nova e poderosa pilha voltaica para a Royal Institution foram assinados em 1809. Com esta pilha voltaica, Davy separou os halogênios, o iodo, o cloro e o flúor. Esses elementos, no entanto, já haviam sido isolados por outros. Em 1810, Davy pela primeira vez exibiu o arco elétrico de carbono, usando a pilha voltaica como fonte de eletricidade. (MEYER, 1972).

Alguns que se interessaram pela eletricidade construíram cada vez maiores e potentes pilhas voltaicas, pesando toneladas. Várias sociedades de pesquisa destinaram fundos para a construção de tais artefatos de modo que na maioria das universidades da Europa havia pelo menos uma dessas pilhas (MEYER, 1972).

Depois de alguns melhoramentos técnicos e de algum tempo de interação dos sujeitos com a pilha elétrica, foi percebido que esses artefatos apresentavam uma limitação técnica<sup>43</sup>, que era a diminuição da intensidade da saída da eletricidade. (MEYER, 1972). O estudo dessas limitações técnicas levaram a novos desdobramentos da teoria que possibilitaram uma forte correlação entre a eletricidade e o magnetismo, bem como levaram à proposição da existência de uma partícula material responsável pela manifestação das propriedades elétricas de um dado corpo, essa partícula foi evidenciada experimentalmente somente no ano de 1909, com o experimento de Milikan que equilibrando a interação elétrica com a interação gravitacional conseguiu a proeza de fazer levitar uma gota de óleo.

### **3.9 Os desdobramentos posteriores da teoria eletromagnética: Da pilha voltaica ao experimento de Milikan**

A constituição da teoria eletromagnética contemporânea teve grande desdobramentos, velozes, ao longo do século XIX. Desde início dos estudos em eletricidade no século XVIII a. C. até o início do século XIX d. C., a teoria da eletricidade tinha apenas duas utilidades práticas de largo uso comercial: os para raios e os produtos obtidos a partir dos processos de eletrólise.

Por volta de 1820, Oersted, observa que um fio conectado às extremidades de uma pilha de volta adquire propriedades magnéticas. Depois disso Faraday, em 1831 observou que movimentando um ímã próximo a uma bobina metálica há uma corrente elétrica induzida (MEYER, 1972).

Na segunda metade do século XIX ocorre uma importante mudança conceitual na teoria da eletricidade. Antes esta era encarada como um ou dois fluidos mecânicos, agora emerge uma interpretação desta como sendo uma propriedade intrínseca a partículas específicas, isto é, surge então uma teoria corpuscular da eletricidade, onde o irlandês George Johnstone Stoney (1826-1911), entre 1874 e 1881, formula diversos conceitos acerca da eletricidade como sendo essa dotada de unidade fundamental. Stoney, no ano

---

<sup>43</sup> Esse acontecimento encarado então como um defeito técnico de projeto hoje é interpretado como um fenômeno chamado polarização da matéria, evidenciado quando aparece bolhas de gás hidrogênio no eletrodo positivo de uma bateria de solução eletrolítica, fazendo com que apareça uma resistência interna na bateria, estabelecendo uma força eletromotriz contrária, diminuindo assim intensidade da corrente elétrica de saída.

de 1891 usa o termo elétron, possivelmente pela primeira vez, para fazer referência a essa unidade fundamental de eletricidade. Depois disso, Joseph J. Thomson consegue medir pela primeira vez a razão carga e a massa. A carga elétrica, nesse contexto, pode ser compreendida como a quantidade de eletricidade contida em cada elétron. Assim, os processos de eletrização passam a ser interpretados então a partir do excesso ou falta de elétrons em um dado corpo (ROCHA, 2002).

Como consequência direta da proposição desses novos conceitos temos o desenvolvimento de um modelo teórico explicativo da eletricidade a partir de um modelo mecânico da carga e da corrente elétricas. A corrente elétrica seria o movimento ordenado dessas unidades de eletricidade ao longo de um meio material. Ora no século XIX, a mecânica já estava de todo consolidada, tendo diversos elementos da teoria da mecânica dos fluidos implicados na engenharia das máquinas térmicas do tipo locomotivas que grassavam o continente europeu.

A Termodinâmica era a seção da Filosofia Natural e da Filosofia Experimental que se ocupava do estudo do movimento simultâneo de uma infinidade das partículas de modo que não seria impossível aplicar os Princípios Fundamentais da Dinâmica individualmente a cada partícula. O modelo teórico explicativo corpuscular da eletricidade e do magnetismo tinha a mesma ambição e assim foram elaboradas pontes analógicas entre os modelos já disponíveis e a propostas de explicação para a eletricidade (MORAIS, 2014). No bojo dos elementos culturais que eclodiram no Positivismo, a Filosofia Natural buscava uma explicação mecânica para diversos fenômenos naturais, dando origem a uma corrente filosófica demoniada Mecanicismo. Esta por sua vez respinga nos modelos teóricos da eletricidade e do magnetismo.

Dentre as diversas dificuldades apresentadas pelo modelo mecânico da eletricidade, temos a questão da velocidade da condução da eletricidade, a velocidade dos fenômenos de indução elétrica e a velocidade dos efeitos luminosos relacionados à eletricidade. Até o início do século XX a existência de éter era uma verdade inquestionável, e para solucionar tais problemas era preciso uma ideia de um éter mesmo imponderável e imaterial, mas que apresentasse algumas propriedades materiais como a elasticidade.

É interessante perceber que a ideia de ação à distância mediada por um campo, como o campo gravitacional, já havia sido proposta por Newton quando da sua apresentação da lei do inverso do quadrado da distância para as interações gravitacionais.

Uma consequência direta das leis do inverso do quadrado é a ideia de interação à distância de modo imediato ou simultâneo.

James Clerk Maxwell (1831-1879), partindo da suposição da existência do éter, propõe um modelo mecânico extremamente matematizado que incorporava em uma única teoria tanto a eletricidade como o magnetismo, sendo capaz de fornecer explicações plausíveis para uma vasta classe de fenômenos bem como as propriedades eletromagnéticas apresentadas por diversos materiais. Maxwell não acreditava na ideia da ação à distância proposta por Newton (MAXWELL, 1873)<sup>44</sup>

Percebe-se em Maxwell uma analogia de modelo entre a dinâmica dos fluidos e sua teoria eletromagnética. Analogia essa reverberada nos manuais de Física básica de nível universitário que tratam da teoria eletromagnética. Maxwell admitia essa analogia como uma forma de aproximar o desconhecido do já conhecido (MORAIS, 2014) (MAXWELL, 1873)

Quando das proposições dos modelos teóricos de Maxwell, devido a trabalhos de diversos pesquisadores e devidos às próprias conclusões de Maxwell, foi sugerido a existência de campos elétricos e magnéticos e que estes estavam fortemente correlacionados de modo que a luz seria uma onda eletromagnética e assim como todas as demais ondas eletromagnéticas possuía uma velocidade no vácuo de 300.000 km/s. Então com um esmo trabalho, Maxwell não só atrela o magnetismo à eletricidade como também possibilita um rico diálogo entre eletromagnetismo e ótica (MAXWELL, 1873).

Ao incorporar a ótica, o modelo de Maxwell não conseguiu explicar alguns fenômenos óticos, tais como desvios de índice de refração e a dependência das cores em relação aos índices de refração. Além desses problemas teóricos ainda havia uma antiga querela acerca da natureza da luz, onde alguns defendia que a luz seria uma onda e outros admitiam que a luz era constituída de partículas. Assim as duas correntes de pensamento disputavam tanto pela proposição de atividades experimentais capazes de evidenciar o caráter corpuscular ou ondulatório como pela elaboração de refinamentos teóricos em seus modelos explicativos.

Algumas experiências como as relacionadas à difração da luz ou as de dupla refração, sob o referencial teórico da teoria ondulatória da luz precisava admitir que as

---

<sup>44</sup> Vale notar que mesmo quando da publicação de seu Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo, Maxwell não faz referência a partículas materiais ou cargas elétricas, ainda usava a expressão quantidade de eletricidade contida em um corpo.

ondas luminosas deveriam ser transversais, e não longitudinais, e o éter deveria ser um sólido totalmente elástico e não como um fluido. Essa ideia da elasticidade do éter por um lado dava conta dessas experiências e por outro lado fracassava ao tentar dar conta de diversos outros fenômenos como os movimentos planetários. Outro problema enfrentado era que, quando a transversalidade da luz foi proposta, nenhum método geral ainda havia sido desenvolvido para investigar matematicamente as propriedades de corpos elásticos (MORAIS, 2014).

Para dar conta desses dois fenômenos distintos George Gabriel Stokes (1819-1903) propôs que o éter se comportaria como um sólido elástico, no caso de vibrações rápidas, como da luz, mas como um fluido, no caso do progressivo e bem mais lento movimento dos planetas. Já Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) e Claude Lois-Marie-Henri Navier (1785-1836) propuseram modelos de sólido elástico, mas os modelos não conseguiam obter algumas leis da difração. Somente em 1839 que James MacCullagh (1809-1847) propõe um modelo de um sólido elástico para o éter, com propriedades que preenchem os requisitos da luz e dos movimentos planetários.

O professor de Filosofia Natural William Thomson (1824-1907) - Lorde Kelvin - propôs um modelo mecânico molecular para o éter de MacCullagh. O modelo de Thomson motiva James Clerk Maxwell a construir um modelo mecânico para o Eletromagnetismo, extrapolando a aplicação, que era limitada à propagação da luz.

Em 1897, baseado nesse modelo de Maxwell, o inglês Joseph John Thomson (1856-1940) anunciou o resultado de seus experimentos com raios catódicos; sugerindo que os raios catódicos fossem constituídos de partículas subatômicas negativas, a que chamou de “corpúsculos”. Depois as considerou como constituintes universais da matéria, isto é, as unidades de eletricidade ou elétrons, como já fora anteriormente proposto. As pesquisas realizadas por Thomson não tinham como preocupação inicial explicar a natureza dos raios catódicos, mas sim compreender melhor a condução dos raios de eletricidade em gases (MORAIS, 2014).

A ideia do elétron como sendo uma partícula elementar da natureza contendo diversas propriedades elétricas e magnéticas, embora fazendo uso de todo o percurso histórico da constituição da teoria eletromagnética possui uma data de nascimento que é o ano de 1891, mas foi gestada num processo de longínqua duração, em um tempo estrutural, e foi gradativamente amadurecida principalmente pela mediação possibilitada pela interação dos sujeitos com os diversos artefatos elaborados única e exclusivamente para se estudar os fenômenos elétricos e magnéticos.

Da proposição da ideia de existência do elétron até a interpretação do experimento de Milikan da levitação da gota de óleo como sendo um fenômeno produzido pelos elétrons; transcorreram mais de quinze anos de amadurecimento de ideias, de elaboração de novos artefatos, de surgimento de diversas tentativas e modelos teóricos explicativos. Na atualidade o elétron é encarado como uma partícula fundamental da natureza dotada de carga elétrica, responsável por diversos fenômenos abarcados tanto pela teoria eletromagnética quanto pela mecânica quântica; sendo ainda hoje fruto de diversas pesquisas e de diversos embates teóricos e experimentais.



## 4 PERCURSO METODOLÓGICO

---

*Caminhando contra o vento. Sem lenço e sem documento. No sol de quase dezembro. Eu vou [...] Sem lenço, sem documento. Nada no bolso ou nas mãos. Eu quero seguir vivendo, amor. Eu vou. Por que não, por que não? (Caetano Veloso. Alegria, Alegria, 1967)*

No presente trabalho entendemos a pesquisa como um procedimento sistemático, generalista, pautado nas faculdades racionais do sujeito, no intuito de formular constructos teóricos ou práticos capazes de dar conta de uma classe de fenômenos, usando uma linguagem rigorosa e de modo pretensamente objetivo. Além disso, os constructos ainda devem ser passíveis de comprovação e de validação por diversos meios que não só a experimentação (BUNGE, 1980). No contexto do Ensino de Física, compreendemos a pesquisa como uma pesquisa em ciências sociais (GIL, 1987), um procedimento formal e sistemático de abordagem da realidade social do Ensino de Física com o intuito de obter respostas e compreender tal realidade, pelo viés científico, identificando seus aspectos contraditórios, suas mudanças quantitativas e qualitativas, o seu movimento

### 4.1 Apresentando as características e a dinâmica da pesquisa

Em relação a natureza, a pesquisa se caracteriza como qualitativa, onde, de modo processual, o teor das informações obtidas é mais importante para os objetivos do trabalho do que a frequência com que elas aparecem. Quanto aos objetivos, a pesquisa no primeiro momento tem enfoque exploratório (pesquisa histórico-bibliográfica) quando analisamos o estado da arte da produção acadêmica sobre a temática em tela como uma entrada no campo da pesquisa, seguido de um enfoque teórico/explicativo onde desenvolvemos o quadro conceitual a partir do qual situamos o lugar social da pesquisa. Em seguida realizamos uma intervenção no ambiente escolar tanto para a elaboração da proposta didática quanto para a elaboração dos dados submetidos a análise uma produção de dados. Por esse aspecto podemos dizer que a pesquisa também é pesquisa de campo (GIL, 2002).

De acordo com o exposto acima, por ter uma pretensão de solução problemas práticos numa realidade circunstancial, o trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa aplicada; por ter uma base empírica e um engajamento do pesquisador na realidade pesquisada, num curto raio de ação, a presente pesquisa se identifica como uma pesquisa participante e por “[...] determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis

que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto” (GIL, 1987, p. 73), a pesquisa se identifica com a pesquisa experimental;

A pesquisa em Ensino de Física é um campo de investigação original e específico, com percursos metodológicos próprios delineados a partir da realidade investigada pois “[...] cada pesquisa possui um delineamento próprio peculiar, determinando pelo objeto de investigação, pela dificuldade na obtenção dos dados, pelo nível de precisão exigido e pelos cursos materiais de que dispõe o pesquisador.” (GIL: 1987, p. 71)

Com o pensamento acima exposto ponderado, inicialmente fizemos um levantamento, seguido de estudo analítico-interpretativo, do material bibliográfico que forneceram tanto o suporte teórico quanto a contextualização do campo semântico do trabalho. O diálogo constante com as obras de suporte teórico acompanhou todos os momentos da atividade da pesquisa, embora tenha sido mais intenso no início dos trabalhos. Esse diálogo se mostrou necessário porque em diversos momentos houve a necessidade de revisitar os conceitos, os pressupostos e as propostas de superação das realidades problematizadas.

No que diz respeito ao quadro teórico metodológico de referência histórico, imergimos no contexto da perspectiva materialista da história da ciência, atentando para a materialidade da cultura e para as estruturas de longa duração, média duração e de curta duração numa relação dialética com o tempo da ação benjaminiano, perseguindo o movimento e o ritmo dessas estruturas no pensamento e no conhecimento que veio a constituir a teoria da eletricidade nos moldes como a conhecemos hoje.

Já no quadro teórico sobre educação, exploramos as contradições entre a episteme moderna e seu projeto de Formação Cultural, apontando que essas contradições influenciam sobremaneira na aprendizagem no mundo contemporâneo, que se desenvolve na tensão entre educação e escolarização, fomentando ou o embrutecimento ou a emancipação. Como Física está intimamente relacionada com a episteme moderna, o Ensino de Física é encarado como um elemento importante da cultura contemporânea capaz de proporcionar a perpetuação das contradições apontadas, como é também um *locus* privilegiado da reconstituição da experiência (**Erfahrung**). Para tal propomos um Ensino de Física aberto às diversas dimensões do conhecimento a partir da interação com as mais diferentes linguagens, perseguindo uma relação estética do sujeito com o conhecimento. Com esse Ensino de Física, a educação perde o seu caráter messiânico de

consumação num futuro irrealizável para se realizar no tempo do intenso agora em dimensão estética, vinculada à vida do sujeito cognoscente.

Como pressuposto teórico metodológico no que se refere à Filosofia da Física apontamos as diversas contradições na suposta filosofia recorrente tanto em pesquisas aplicadas quanto no Ensino de Física, filosofia essa mais ou menos espontânea e inconsciente, denominada **Operacionalismo**. No sentido de superar tal Filosofia propomos uma aproximação com o Realismo Científico, elencando as principais características e propriedades de uma Filosofia da Física, a partir da axiomatização das teorias e/ou da análise conceitual histórica capaz de explicitar o movimento de constituição das teorias físicas.

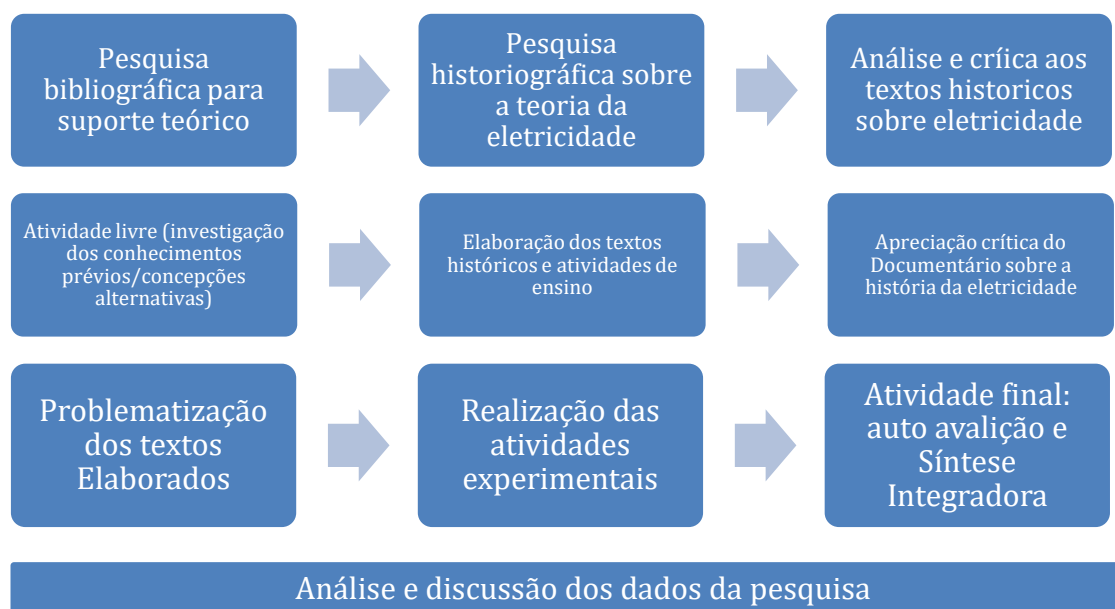
Consciente dessas três realidades distintas, mas indissociáveis quando da prática efetiva em sala de aula, realizamos um estudo analítico e crítico das obras disponíveis quando da pesquisa que tratam da eletricidade num contexto histórico, identificando as posturas dos autores que evidenciassem suas perspectivas no que diz respeito às tensões entre idealismo e realismo, entre abordagem internalista e abordagem externalista, protagonismo individual do gênio solitário e incompreendido e elaboração social do conhecimento. Depois de identificadas essas tensões elaboramos um texto histórico acerca da constituição da teoria da eletricidade tendo como mote os processos de eletrização, a partir da perspectiva da duração, da materialidade da cultura, da mediação do sujeito com os instrumentos materiais, como elemento capaz de produzir mudanças qualitativas no psiquismo desses sujeitos. Tal empreitada foi realizada com o intuito de propor uma superação das tensões e das contradições identificadas ao longo do processo investigativo.

Elaborado o texto histórico principal, o procedimento seguinte foi a elaboração de dispositivos capazes de operar uma transposição didática das ideias e conceitos essenciais contidos nesse texto, o que foi alcançado confeccionando textos didáticos com problematização histórica, atividade de apreciação crítica de documentário e replicação de experimentos que tratam diretamente dos objetos materiais como mediadores entre a realidade material e o psiquismo, a saber: o perpendicular, o versório, a pilha voltaica e a máquina elétrica. Nesse estágio da atividade o grande desafio foi propor atividades em sala de aula, no Ensino Médio, capaz de efetivar a transposição didática sem fazer retaliações extremas, de modo que as partes selecionadas nas elaborações apresentassem a totalidade da intenção do texto, uma parte como uma representação do todo.

Finalizado esse processo inicial, iniciou-se a parte empírica do trabalho que consistiu basicamente da apreciação crítica do episódio 1 documentário **História da Eletricidade – A Fâisca**, seguida da problematização de quatro textos históricos cobrindo um grande intervalo temporal da documentação grega do fenômeno do movimento de corpos leves quando atritados até a proposição da ideia de elétron como um corpo material com diversas propriedades físicas. No terceiro momento foram realizadas as atividades experimentais e finalmente a atividade avaliativa final, uma síntese integradora de todo o processo.

No esquema abaixo, encontra-se um quadro resumo do campo empírico e do percurso seguido para a consolidação da pesquisa:

**Quadro 1** - Resumo dos procedimentos efetivados durante a atividade de pesquisa



Fonte: O autor (2020)

No que diz respeito ao objetivo central desta pesquisa, ele é o de criar, aplicar e avaliar estratégias e materiais pautados no materialismo histórico dialético e no realismo científico a partir de problematizações históricas e filosóficas em relação ao processo de constituição da teoria da eletricidade, tendo como mote do problema os processos de eletrização. Entretanto, vale salientar que tal abordagem se insere em uma proposta de superação das contradições identificadas tanto na relação da episteme moderna com seu projeto de Formação Cultural quanto na filosofia operacionalista recorrente no Ensino de Física e nas pesquisas aplicadas.

Portanto, esta pesquisa não pretende somente problematizar a eficácia de processos de ensino e aprendizagem, de partilhas de conhecimento em física, pautados em discussões sobre a História e Filosofia da Ciência a partir de textos históricos, mas problematizar todo o processo incluindo também a necessidade de se buscar outras formas de avaliação que não só a quantitativa e operacional.

Tanto para a problematização e produção dos dados propusemos um questionário aberto inicial capaz de obter indícios dos conhecimentos prévios/concepções alternativas dos estudantes, a apreciação crítica de um documentário histórico seguido de um roteiro de análise, quatro textos históricos seguidos de questionários abertos, a elaboração de experimentos históricos de construção de um perpendicular, um versório e uma pila elétrica. Depois dessas atividades, foram desenvolvidas atividades com uma máquina eletrostática e por fim os alunos foram convidados a produzirem sínteses integradoras e a avaliarem o próprio percurso formativo ao longo do desenvolvimento da estratégia de ensino.

## **4.2 O contexto da pesquisa:**

### **4.2.1 A caracterização do local da pesquisa**

A pesquisa foi realizada no turno matutino, em uma turma de terceira série do Ensino Médio do Colégio Militar Tiradentes V, no município de Timon, no Estado do Maranhão. A escola a partir de 2019 passou a se vincular à Prefeitura de Timon, ofertando o Ensino Fundamental II, de 6 ano ao 9 ano. E desde 2017 é vinculada ao Estado do Maranhão, ofertando o Ensino Médio regular, na modalidade presencial.

O município de Timon, terceira cidade mais populosa do estado do Maranhão, contando com mais de 70 (setenta bairros e localidades) faz parte da Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina, abriga uma população de cerca de 169.100 (cento e sessenta e nove mil e cem) habitantes; sendo cornubada com Teresina. Possui uma economia voltada basicamente para os pequenos negócios, para o setor informal e para a agricultura de subsistência, com uma pequena parcela da população ocupada, cerca de 8.7% total (sendo que 91.3% da população timonense não possui ocupação nenhuma ou desempenha funções de subemprego o mercado informal), com uma renda média mensal de 1.8. Cerca de 44.5% de domicílios timonenses apresentam uma renda per capita mensal de até meio salário mínimo.

Mesmo estando na mesma macrorregião econômica que Teresina, Timon possui somente 38% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, e apenas 1.4% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). No ano de 2018, o município de Timon contava com 22.649 (vinte e duas mil e seiscentos e quarenta e nove) matrículas na rede pública de educação, desse total 6.574 (seis mil e quinhentos e setenta e quatro, no Ensino Médio. Conta com 185 (cento e oitenta e cinco) unidades escolares, nas quais trabalham 1884 (mil e oitocentos e oitenta e quatro) professores, sendo que 602 (seiscentos e dois) docentes atuam no Ensino Médio, essa modalidade de ensino conta apenas com 20 escolas. Cerca de 44,90% da população timonense não possui escolaridade ou possui o Ensino Fundamental incompleto, contra 15,04% da população que possui o Ensino Médio completo ou Ensino Superior incompleto (IBGE, 2018).

É nesse contexto de precariedade da qualidade de vida e das condições de reprodução da existência material que a Escola Militar Tiradentes V foi pensada como uma alternativa a longo prazo de mudança dos índices socioeconômicos de Timon, ofertando uma escolarização pautada na vigilância disciplinar hierárquica (FOUCAULT, 1987) e na valorização da honra e dos símbolos nacionais como elementos norteadores da prática educativa, no intuito de formar cidadãos no seu pleno no estado democrático de direito e de trabalhadores de alto nível de especialidade técnica.

Quando da sua fundação, em 2017, o Colégio Militar Tiradentes V, fez uso de toda a estrutura do Unidade de Ensino Padre Delfino, que passou por um processo de reforma, pintura, e climatização para acomodar junto a seu corpo docente e gestor civil, a equipe de funcionários da Polícia Militar. Além da reforma a escola recebeu mobiliário novo. A partir da cooperação entre Secretaria de Estado da Educação através da Unidade Regional de Educação de Timon e a Secretaria de Segurança Pública através da Polícia Militar; a instituição dá os seus primeiros passos tateando a constituição de seu corpus administrativo, de clientela, de professores, de técnicos, de agentes de portaria, profissionais de limpeza e de cozinha.

Segundo os documentos reguladores das Escolas Militares no Maranhão, o objetivo da escola é fornecer uma educação nos moldes militarizados para a sociedade civil e principalmente para os dependentes dos Policiais Militares do Estado. A escola conta com cinco unidades nos municípios de São Luís, Imperatriz, Bacabal, Caxias e Timon, e em todas essas unidades apresentaram resultados satisfatórios nas avaliações tanto internas quanto externas.

Para o ingresso no Colégio Militar, são realizados processos seletivos anuais para o ingresso no Ensino Fundamental II no sexto ano e para o ingresso no Ensino Médio na primeira série. Na escola os alunos cumprem uma jornada regular mínima de 35 horas semanais, distribuídas em sete horas aula por dia, com as disciplinas do currículo de uma escola civil e uma disciplina ofertada pela Polícia Militar e ministrada por um policial militar.

No contra turno, os alunos têm a oportunidade de participarem de atividades diversas como a banda de música da escola, cursos de nivelamento e aprofundamento em disciplinas diversas como Física, Matemática e Produção Textual. Atividades esportivas, como judô ou jiu-jitsu, também podem fazer parte do cotidiano da vida do aluno no contra turno escolar.

#### 4.2.2 A caracterização dos sujeitos da pesquisa

Embora na Escola Militar Tiradentes V, em seus anos iniciais de funcionamento aproveitou tanto a infraestrutura como o corpo discente da Unidade Integrada de Ensino Padre Delfino, de modo que os seus primeiros alunos ingressaram na instituição sem realizar o exame seletivo. Assim nos quatro primeiros anos de funcionamento, a instituição conta com uma grande presença de alunos efetivamente oriundos de escolas públicas municipais e estaduais. Com a gradativa consolidação dessa escola, o número de alunos oriundos de escolas privadas que ingressaram no Ensino Médio é significativo.

Em relação aos alunos de Ensino Médio que estudaram integralmente em escolas públicas em Timon, considerando as características socio econômicas do município, são as pessoas mais escolarizadas da família, sendo que as principais informações acerca do universo do trabalho e da possibilidade de continuidade dos estudos após terminar o ciclo da Educação Básica são parcamente obtidas na escola. Daí a importância de a escola proporcionar experiências formativas totalizantes.

**Tabela 1-** Distribuição dos sujeitos da pesquisa por gênero

Sexo	Quantidade	Percentual
Masculino	15	46.87%
Feminino	17	53.13%
Total	32	100%

Fonte: O autor (2020)

Os sujeitos da pesquisa são 32 alunos de uma turma do turno manhã, de 3ª série de Ensino Médio do Colégio Militar Tiradentes V. Em relação ao gênero, a classe é

composta por uma quantidade de mulheres ligeiramente maior que a quantidade de homens, enquanto estes compunham cerca de 46.87%, aquelas eram 53.13% do total da classe.

Segundo dados do IBGE, no ano de 2018 51.7% da população brasileira é do sexo feminino e 48.3% é do sexo masculino, porém no Ensino Médio, cerca de 54% dos discentes são do sexo feminino. Em escolas civis timonenses o percentual de discentes do sexo feminino nas séries finais do Ensino Médio é ligeiramente maior, devido a diversos fatores socioeconômicos, sendo que na turma pesquisada há uma ligeira diferença entre a quantidade de homens e a quantidade de mulheres.

Em relação à faixa etária, a turma era composta por jovens de 17 a 20 anos de idade, sendo que aproximadamente 72% eram jovens de 18 e 19 anos. As diretrizes legais da educação brasileira pretendem que uma criança de 06 anos de idade ingresse na 1ª série do Ensino Fundamental e que finalize esta etapa de escolarização com 14 anos de idade. Assim, espera-se que um aluno ingresse no Ensino Médio Regular com 15 anos de idade e que finalize a 3ª série do Ensino Médio com 17 anos de idade. Na classe em questão, somente 21.87% não apresentavam distorção entre idade/série e cerca de 78,15% dos membros da turma eram maiores de idade.

**Tabela 2** - Distribuição etária dos sujeitos da pesquisa

Idade	Quantidade	Percentual
17	07	21.87%
18	12	37.50%
19	11	34.38%
20	02	6.25%
Total	32	100%

Fonte: O autor (2020)

Dessa feita, os sujeitos da pesquisa, são adolescentes, em sua maioria maiores de idade, alguns deles já convivendo em relação conjugal estável de modo que na sala de aula havia uma aluna gestante e outra com filho recém-nascido. Diversos alunos exerciam atividades profissionais remuneradas no contraturno ou o período noturno, sendo que destes, apenas dois tinham ocupação laboral formal como menor aprendiz.

Em sua maioria os sujeitos da pesquisa são moradores de bairros periféricos da cidade de Timon, sendo que três ou quatro alunos eram moradores da zona rural da cidade, dependendo do transporte escolar, que tinha horário determinado de trânsito de modo que esses alunos eram impedidos de estar presente em sala de aula na segunda metade do sexto horário e no sétimo horário. Além desses alunos, alguns deles, oriundos do interior,



estavam hospedados em casa de parentes para poderem prosseguir nos estudos uma vez que no seu lugar de origem o Ensino Médio não era ofertado.

Em relação ao histórico escolar da turma, não foi possível, quando da pesquisa, obter informações sobre a vida escolar dos alunos no que diz respeito ao Ensino Fundamental, mas infere-se que a grande maioria dos alunos são oriundos de escolas públicas pertencentes à rede do Município de Timon. Em relação ao Ensino Médio, todos os alunos cursaram mais da metade do Ensino Médio no Colégio Militar Tiradentes V, sendo que 93.75% cursaram todo o Ensino Médio nesta escola.

**Tabela 3** - Relação entre as quantidades de séries cursadas no Colégio Militar Tiradentes V e o total de alunos da turma pesquisada

Ensino Médio	Quantidade	Percentual
Tiradentes V	30	93.75%
2 anos Tiradentes	02	6.250%
1 ano Tiradentes	0	0%
Total	32	100%

Fonte: O autor (2020)

As turmas de 3ª série do Ensino Médio do ano de 2019 da Escola Militar Tiradentes V foram as primeiras turmas a receberem integralmente uma escolarização pautada nos princípios e valores da Polícia Militar do Estado do Maranhão, com os recursos materiais disponíveis, com a organização e estrutura escolar diferenciada. Assim a presente pesquisa também não deixa de ser um retrato de alguns elementos presentes nesse modelo de escolarização.

Ainda, visando garantir o anonimato dos sujeitos da pesquisa, ao mesmo tempo que pretendemos dar visibilidade à heterogeneidade espacial do município de Timon, atribuímos nomes de bairros e de povoados da zona rural a esses sujeitos.

#### **4.2.3 A organização administrativa e pedagógica do espaço escolar**

As turmas de Ensino Médio da Escola Militar Tiradentes V são constituídas por no máximo 35 (trinta e cinco alunos), e cada série conta com policial como tutor e professor da disciplina de cunho militar e um coordenador pedagógico. Além desse acompanhamento, a chefia da turma é compartilhada de modo rotativo, semanalmente, onde um membro da classe é eleito xerife. O xerife possui as funções de controlar e organizar a sala de aula, os deslocamentos dos alunos, a formação destes em fila, a limpeza da sala de aula, receber ordens de seus superiores hierárquicos e as fazer cumprir,

relatar ausências, controlar o conteúdo ministrado em sala de aula, comunicar quaisquer alterações do estado das coisas à coordenação civil e militar.

Devido ao grande volume de recursos financeiros destinados à escola pelo poder público, além do fornecimento de alguns materiais de expediente e de contribuições mensais pagas pelos os alunos, a escola conta uma infraestrutura diferenciada, dispendo de laboratórios, bibliotecas, ginásio poliesportivo, tatames, banda de música, salas climatizadas, refeitório entre outras dependências.

A escola conta ainda com quatro diretores, dois militares de alta patente, e dois civis, sendo que a gestão principal da escola é de responsabilidade da Polícia Militar e os diretores civis se ocupam da execução de atividades de cunho pedagógico, depois de as orientações serem deliberadas junto com os militares. Talvez uma das grandes diferenças entre uma escola civil de Timon e a Escola Militar Tiradentes V seja a quantidade considerável de profissionais relativamente bem remunerados, disponíveis e aptos a desenvolver as atividades que lhes são destinadas.

Em relação ao aspecto pedagógico, devido ao grande número de turmas na escola, e do correspondente número de professores, devido à necessidade de produzir resultados positivos em um intervalo de tempo relativamente curto e devido à gestão militar; temos uma aceleração do devir escolar, com a alienação do corpo docente em relação às tarefas de planejamento no nível macro, de modo que ao professores cabe a tarefa de planejar e executar somente as atividades de sala de aula, tendo como horizonte as avaliações externas e os exames admissionais em faculdades e universidades.

No que diz respeito à Física, até o ano de 2019, o único recurso didático ofertado para o aluno pela escola é o livro didático base<sup>45</sup> que é em geral escolhido pela equipe dos professores da área, com validade para três anos. Como o número de alunos vem crescendo a cada ano que a escola se consolida, em geral a quantidade de livros disponíveis é menor que a quantidade de alunos matriculados. Para minimizar esse problema, são enviados para a escola novos livros que não são o escolhido pela equipe de

---

<sup>45</sup> O livro didático aqui é instrumento pedagógico básico, principalmente para as escolas públicas, e possui uma natureza complexa e multifacetada. É um portador e vetor de valores culturais, ideologias, preconceitos e modos de compreensão da realidade de seus produtores e daqueles que o manuseiam. Também é mercadoria inserida na lógica de produção de mercado. Embora seja o único e principal recurso didático oficial, ele não é capaz de abarcar a complexidade do Ensino de Física, apresentando diversos problemas na instrumentalização.

professores e que ainda estão em estoque. Assim há uma heterogeneidade de livros didáticos para uma mesma série em um mesmo turno.

No livro didático de Física utilizado no ano de 2019, foi percebida uma forte influência da corrente filosófica positivista com grande apelo à linguagem matemática como ferramenta linguística essencial para a compreensão da natureza<sup>46</sup>. Nesse livro, o número de exercícios e tarefas sugeridas são bastante limitados, não abarcando as possibilidades de problematização inerentes ao conhecimento físico.

É nesse espaço que se desenvolveu a estratégia de ensino e aprendizagem: numa sociedade extremamente pauperizada onde a educação pautada na ordem, na disciplina e na honra tem uma missão de melhorar os índices socioeconômicos; mas que, pelo seu caráter celetista, não deixa de apresentar uma face excludente ao passo que permite uma relativa mobilidade social dos alunos que conseguem a aprovação no exame seletivo e permanecer na escola.

### **4.3 Os instrumentos de produção dos dados**

Concluída a atividade de pesquisa teórica e do estudo analítico e crítico de narrativas historiográficas acerca da teoria da eletricidade, partimos para a parte empírica de implementação da estratégia didática e simultaneamente para a produção dos dados a serem analisados. Utilizamos um questionário inicial, um roteiro de análise crítica do documentário exibido, os questionários de compreensão dos textos problematizados, as atividades experimentais e pôr fim a síntese integradora e a auto avaliação.

#### **4.3.1 A técnica do questionário aberto e a atividade livre inicial**

Como instrumento privilegiado de produção de dados na pesquisa, foi utilizada uma das mais importantes técnicas de obtenção de dados em pesquisas sociais, o questionário que é “[...] uma técnica de investigação composta por um número mais ou menos elevado de questões apresentadas por escrito às pessoas, tendo por objetivo o conhecimento de opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, situações vivenciadas, etc. (GIL, 1987, p. 124).

---

<sup>46</sup> O aspecto negativo dessa realidade é desenvolvimento de uma prática docente bastante matematizada focada na quantificação de grandezas físicas, na apropriação e na manipulação de símbolos matemáticos e não na apropriação e no domínio dos conceitos físicos e compreensão e explicação dos fenômenos.

Essa técnica além de além de ser adequada às condições de aplicação das atividades avaliativas propostas em sala de aula, ao fazer uso de questões abertas, ou duplas<sup>47</sup>, com uma parte fechada e outra aberta, permite a afirmação do sujeito participante pela sua expressão (GIL, 2002) e é uma forma alternativa de atividade avaliativa capaz de superar as avaliações operacionais quantitativas em Ensino de Física. Assim, os questionários abertos são consoantes com os pressupostos educacionais admitidos pela pesquisa e com a proposta de problematização de textos históricos em sala de aula.

Considerando que a Escola Militar Tiradentes V encara o desafio de ser uma das melhores escolas públicas de Timon, entendemos que algumas limitações intrínsecas à técnica de questionários sejam minimizadas como por exemplo a exclusão de pessoas analfabetas ou deformações nas respostas devidas a falta de entendimento, pois os sujeitos da pesquisa são discentes da última série da Educação Básica, estão finalizando um ciclo formativo extremamente importante. Também os questionários foram destinados para as atividades em sala de aula, em condições espaciais extremamente favoráveis.

Recomenda-se que questionários voltados exclusivamente para as finalidades de pesquisas contenham perguntas elaboradas de modo claro e preciso, que induza a uma única interpretação e que possam ser respondidas sem dificuldades, sempre ponderando o nível de informação do interrogado e seu sistema de referência, problematizando uma ideia por vez. Também é recomendado, evitar perguntas diretas que incluem o sujeito na pergunta em geral, vez que estas tentem ser respondidas em atitude de fuga (GIL, 1987).

Compreendemos que tais recomendações visam otimizar o processo analítico, contudo entram em flagrante contradição com os pressupostos educacionais aqui admitidos e mesmo com as orientações normativas voltadas para o Ensino Médio, que defendem a contextualização das perguntas e a obtenção processual das respostas. Além disso, os questionários abertos possibilitam uma gama variada de possibilidades de respostas, e é a partir dessas respostas abertas que é possível perseguir os significados e os sentidos elaborados pelos sujeitos em relação às estratégias aqui empregadas.

Além disso, as atividades propostas fizeram parte da composição da nota quantitativa do quarto bimestre, atendendo a todas as exigências metodológicas e pedagógicas exigidas pelo Colégio Militar Tiradentes V. Assim, os critérios de

---

<sup>47</sup> Perguntas duplas: Parte fechada e parte aberta. Em geral pergunta-se algo cuja resposta é sim ou não, seguida da pergunta “Por quê?”.

elaboração e avaliação dos questionários abertos cumpriram uma dupla função, fornecer material a ser submetido às análises no contexto da presente pesquisa e compor a avaliação quantitativa bimestral da instituição de ensino.

Como a estratégia didática foi efetivada somente no quarto bimestre, imediatamente após a realização das provas do Exame Nacional do Ensino Médio - ENEM, isto é, com cerca de 90% dos conteúdos do currículo de Física já integralizados, a atividade livre inicial consistiu em um questionário aberto de 05 (cinco) questões com o objetivo de explicitar as compreensões dos discentes no que diz respeito ao princípio de conservação da carga elétrica, imbricado na conservação da corrente elétrica, e ao princípio da conservação da energia potencial elétrica. Em seguida os alunos foram provocados a se colocarem em situações cotidianas nos quais ocorrem fenômenos observáveis específicos capazes de serem problematizados a partir dos princípios fundamentais da teoria da eletricidade.

As questões foram elaboradas e utilizadas por tratar de conceitos e ideias em Física extremamente complexas de alto poder sintético, que beira ao indizível na Física, faz parte de uma concepção de mundo, de um pressuposto metafísico, que são as leis e princípios de conservação e de simetrias que supostamente a natureza manifesta e que tomamos como algo dado e implícito no Ensino Médio.

Essas questões também podem ser utilizadas com indicador da eficácia do ensino operacionalista, excessivamente matematizado voltado para os exames admissionais em faculdades e universidades que pressionam o cotidiano escolar, exigindo tanto dos professores como dos alunos comportamentos específicos frente ao conhecimento. Assim essas questões podem ser interpretadas como indicativo de aprendizagem dos conceitos já abordados ao longo do ano letivo e que precisam ser ativados para solucionar as situações problemas. Também elas podem fornecer indicativos do amadurecimento linguístico do aluno, de sua capacidade de se fazer entender pela escrita.

Embora a atividade inicial tenha importância capital para a elaboração dos textos históricos e para a eficácia da pesquisa, segundo os motivos acima elencados; por ser uma atividade livre, não foram elencadas categorias analíticas precisas, sendo que os indicadores utilizados foram a capacidade de expressão e de ativação dos saberes que supostamente o aluno possui.

### 4.3.2 Apreciação Crítica do Documentário

O documentário foi exibido integralmente em sala de aula imediatamente após a realização da atividade livre inicial, com o objetivo de proporcionar aos alunos a apreciação crítica do documentário produzido pela British Broadcasting Corporation (Corporação Britânica de Radiodifusão BBC), intitulado **A História da Eletricidade – Choque e Temor: A Faísca - Episódio 01**, de modo que posteriormente eles sejam capazes de confrontar os pressupostos filosóficos e históricos que permeiam a produção com os pressupostos intrínsecos à estratégia didática objeto do presente trabalho.

O referido documentário é uma produção inglesa, de caráter histórico que apresenta narrativas como uma espécie de epopeia rumo ao conhecimento verdadeiro, levada a cabo por gênios solitários. Apresenta uma concepção de tempo linear associado ao tempo cronológico, com uma relativa valorização dos pesquisadores ingleses em detrimento dos pesquisadores de outras nacionalidades. O documentário tem como cenários paisagens estáticas, que destacam o narrador, fortalecendo o instituto do verdadeiro presente na sua fala. Também o documentário possui uma trilha sonora de suspense, convidando o espectador a se inserir na atmosfera de descoberta que o documentário propõe.

Presenciamos na contemporaneidade a consolidação de uma cultura visual da qual não podemos escapar. Nesse contexto, vez ou outra a escola é desafiada a interagir com as imagens, seja fotografias ou filmagens, nos mais diferentes meios e suportes. No caso do consumo ou apreciação imagética no contexto da sala de aula em Ensino de Física, é cada vez mais frequente e por isso é preciso problematizar o gosto, a sensibilidade, a postura de expectador e a postura epistemológica frente às imagens no sentido de buscar uma leitura da imagem segundo os objetivos da atividade desenvolvida, o que não ocorre na maioria das vezes.

Como poderoso instrumento de trabalho, em Ensino de Física é possível inserir tanto narrativas cinematográficas do campo ficcional quanto do campo não-ficcional, sendo que esta pode ser por exemplo documentários de naturezas diversas e aquelas podem ser do gênero ficção científica ou ainda de natureza diversa consoante com os objetivos e os temas que se pretenda trabalhar. É frequente o uso de produções audiovisuais no contexto pedagógico sem quaisquer problematizações acerca de suas especificidades e complexidades, apenas como dispositivo ilustrativo de uma dada temática problematizada em sala de aula.

Como um documentário histórico são em geral composições clássicas veiculadas por tvs a cabo, alternando formas como depoimentos/entrevistas e voz 'over' explicativa, imagens em movimento com o pretense objetivo de apresentar a verdade (RAMOS, 2002), nem sempre é o gênero fílmico apreciado ou experimentado pelos alunos, de modo que é preciso inseri-los na apreciação crítica da produção documental histórica. Tarefa extremamente difícil vez que é preciso compreender o filme como um discurso falado, escrito e imagético que possui diversas funções que não só o entretenimento. É preciso adentrar nas diversas camadas de sentidos e significados que o documentário histórico possibilita, ultrapassar a imagem e a fala que são apresentadas de modo imediato ao espectador.

No início da apresentação do documentário os alunos receberam um roteiro de apreciação crítica contendo diversos questionamentos capazes de guiar a atividade de apreciação. Esse roteiro, elaborado com questões abertas, inicia com perguntas acerca do gosto, da escolha e das preferências que os alunos no que diz respeito a produções audiovisuais. Assim o primeiro passo da atividade é o aluno explicitar suas preferências e que tipo de experiência desenvolvem como espectadores. Ao longo de toda a estratégia didática foi preciso atentar para necessidade de problematizar o que os alunos assistem, municiar o olhar, buscar inserir o áudio visual tanto no seu contexto de produção quanto no seu contexto de recepção.

Depois dessa primeira provocação, os alunos foram convidados a realizar apreciações críticas do documentário no que diz respeito aos seus aspectos gerais, seus aspectos internos e seus aspectos ideológicos, de modo que depois dessa apreciação crítica o aluno seja capaz de confrontar sozinho a narrativa do documentário com a narrativa da estratégia didática.

No que diz respeito aos aspectos gerais, os alunos foram convidados a refletir sobre o caráter coletivo da produção, os seus custos elevados, sobre o conceito de filme, que profissionais estão envolvidos nessa empreitada e que tipo de produção predomina no mercado brasileiro. Essa reflexão tem o caráter de indicar que devido ao alto custo e complexidade da produção, esta não se resume somente à função de entreter, sendo que há diversos objetivos embutidos na produção, sendo, pois, necessário, identificar os objetivos explícitos e implícitos do documentário apreciado.

Na leitura interna do documentário o aluno concentra seus esforços na captação dos elementos internos da produção: os cenários, o figurino, os efeitos, a fotografia, os

enquadramentos, as tomadas, trilha sonora entre outros. Nesse ponto o aluno é desafiado a ler a produção audiovisual tal como faz leituras de textos escritos, sendo que no final dessa leitura o aluno é convidado a apresentar a ficha técnica da produção. Com essa atividade emergem tanto as especificidades que enquadram a produção no gênero documentário histórico, com mecanismos e linguagens própria, quanto o caráter pedagógico da produção audiovisual selecionada, vez que o aluno é provocado a relacionar as propostas do documentário com as propostas da estratégia didática.

A última seção do roteiro de apreciação crítica do documentário se concentra os aspectos ideológicos da produção, exigindo uma leitura desta para além de seus aspectos gerais e de seus elementos internos, compreendendo que por mais que se tenha uma proposta de evidenciar um fato histórico, não é a verdade histórica que está sendo ali representada, não é a realidade, mas uma reconstrução desta, fundada em linguagens próprias em contextos de produção e recepção específicos. Assim o aluno, como espectador ativo, não apenas recebe os sons e as imagens, mas os recria, produz diálogos com estes, nega a pretensão de verdadeiro do documentário ao identificar seus elementos ideológicos, os seus implícitos, seus elementos contraditórios, suas pretensões universalistas.

Com esse roteiro de leitura e apreciação crítica, pretende-se elucidar o documentário **A História da Eletricidade – Choque e Temor: A Faísca - Episódio 01**, identificando como ele se relaciona com a presente estratégia didática, desalienando os alunos dos elementos visuais, proporcionando interpretações mais profundas de modo a relacionar o problema do documentário com os problemas tratados em sala de aula. Com tal prática possibilitamos ao aluno um momento para que este inconscientemente organize, planeje, elabore conexões entre o que ocorre em sala e com as diversas atividades que se desdobram tanto no ambiente escolar como fora dele, sempre tendo na alça de mira um processo de ensino e aprendizagem, repleto de vínculos, de modo a ser preñado tanto de significados quanto de sentidos.

O roteiro de apreciação crítica do documentário histórico foi entregue na segunda aula da estratégia didática, sendo que aos alunos foi cedido o link do canal onde o documentário está disponível, de modo que o aluno seja capaz de rever indefinidamente o documentário, ao longo de todos os passos da estratégia didática, podendo revisitá-lo cada nova proposição de atividade. As respostas desse roteiro foram recolhidas somente na última etapa da estratégia e a cada problematização do texto histórico trechos da



documentário foram resgatados em situação de confronto ora consoante ora dissonante, fornecendo elementos para o preenchimento desse roteiro.

Finalizados esses dois primeiros procedimentos, a atividade inicial livre e a apreciação do documentário, que foram efetivadas em três aulas de 50 min (cinquenta minutos); iniciamos o trabalho principal da estratégia didática que consiste na leitura, interpretação e problematização dos textos históricos que problematizam a constituição da teoria da eletricidade, o que vamos apresentar no próximo tópico, onde esclarecemos o seu processo de elaboração e as possibilidades de problematização didática.

#### **4.3.3 Os textos históricos, as características e os objetivos dos questionários abertos**

O trabalho principal da estratégia didática consiste na leitura, interpretação e problematização dos textos históricos elaborados a partir dos resultados do estudo analítico crítico das obras que tratam da eletricidade pelo viés histórico, incorporando elementos da história da ciência numa concepção materialista e cultural e elementos da filosofia realista, textos esses pautados em uma concepção de tempo histórico da longa duração e na ideia de objetivação onde a relação dos sujeitos históricos com os instrumentos materiais elaborados única e exclusivamente com o propósito de se estudar a teoria da eletricidade foi capaz de patrocinar a maturação do psiquismo desses sujeitos, maturação essa evidenciada tanto no refinamento teórico, com o aprofundamento das possibilidades de discussões e o enriquecimento do poder explicativo e preditivo da teoria, quanto no refinamento material, com melhoramentos técnicos dos elementos materiais disponíveis e com a elaboração de novos dispositivos.

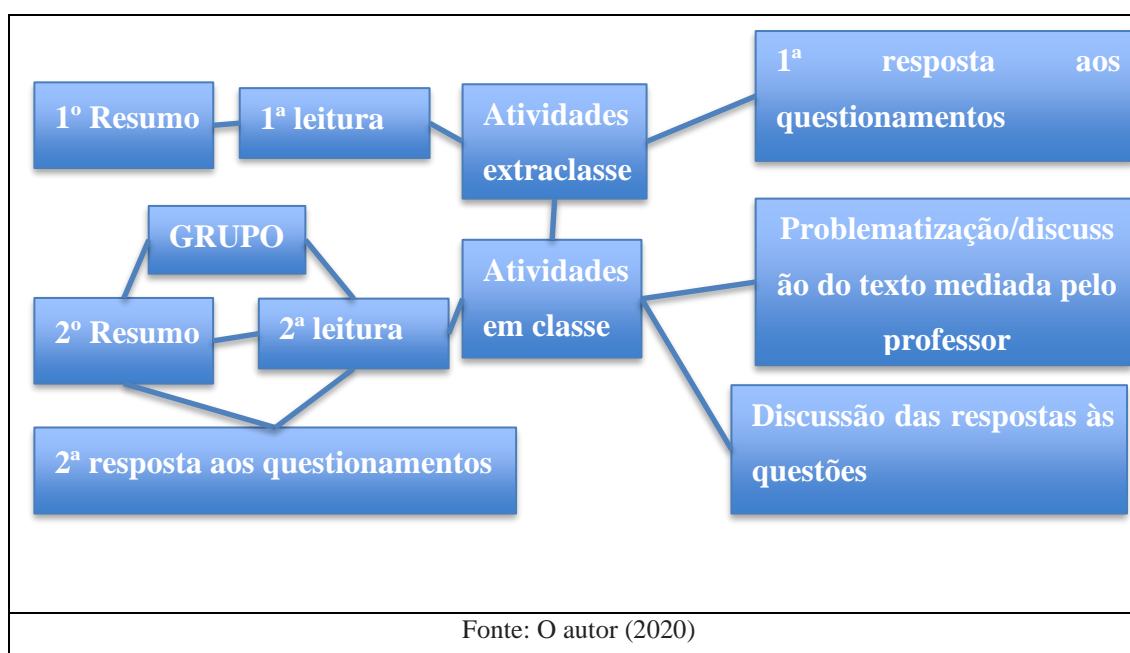
Tendo os elementos teóricos acima apontados como norte, elaboramos quatro textos históricos partindo de um tempo histórico da longa duração em direção ao tempo da média e curta duração, problematizando o processo de constituição da teoria da eletricidade, tendo como mote principal os processos de eletrização. Esses textos históricos foram distribuídos para os alunos sempre no final de um dia de trabalho, já seguido dos questionamentos, de modo a permitir que o aluno realizasse a leitura do texto fora do ambiente escolar e que pudesse esboçar algumas respostas a esses questionamentos, sendo dele solicitado um resumo manuscrito do texto.

Da quarta aula em diante, seguimos procedimentos relativamente constantes, onde a turma foi dividida basicamente em cinco grupos, onde na primeira aula do dia os alunos se reuniam para confrontar e discutir suas respostas individuais e no final do processo

teriam que elaborar um resumo e uma resposta do questionário comum a todo o grupo. Essas atividades foram planejadas de modo a proporcionar o diálogo horizontalizado e valorizar a dimensão coletiva da produção do conhecimento. Nas duas aulas seguintes foram problematizados o texto e as questões, sempre focando no processo de integração sintética entre os saberes teóricos matemáticos problematizados ao longo do ano letivo e os saberes propostos na estratégia didática. No final da aula, um próximo texto e as questões foram distribuídas para as aulas da semana seguinte. Procedimento adotado na problematização dos quatro textos propostos, sendo que à medida que as discussões foram avançando a complexidade das atividades propostas foram aumentando, tanto no que diz respeito aos textos quanto aos questionamentos que os acompanharam.

O quadro abaixo sintetiza o processo de problematização dos textos históricos tanto nas atividades extraclasse como nas atividades em grupo e nas sínteses finais realizadas após a problematização e discussão em sala de aula, mediadas pelo professor.

**Quadro 2** - Resumo do processo de problematização dos textos históricos



A tabela abaixo apresenta uma estimativa de tempo (aulas) necessário para a aplicação dos textos históricos. Assim, desconsiderando o tempo de interação dos alunos com o texto nas atividades desenvolvidas em casa, foi problematizado um texto por semana letiva, como propormos quatro textos históricos, o tempo mínimo de problematização dos textos foi de um mês.

**Tabela 4** - Estimativa de tempo para problematização dos textos históricos.

ETAPAS	AULAS (45 min)
Leitura do texto e em Grupo	0,5
Elaboração do Resumo do Grupo	0,5
Resolução das questões do Grupo	0,5
Problematização/discussão do texto	1,0
Discussão das respostas às questões mediadas pelo professor	0,5

Fonte: O autor (2020)

O primeiro texto, intitulado **Dos fenômenos aos registros escritos**: a domesticação de um olhar pelas tentativas de explicação, é acompanhado por 05 (cinco) questões e problematiza uma longa duração na qual os fenômenos atmosféricos quando das tempestades eram associados e elementos míticos e religiosos e onde os fenômenos de movimentos de corpos metálicos leves na presença de imãs naturais e de corpos leves quando sofriam algum processo de atritamento ou não eram observado ou não eram dignos de registro. O texto aponta um marco de referência na problematização da eletricidade nos moldes da nascente ciência moderna

Já o segundo texto, com o título **Dos primeiros dispositivos materiais à máquina elétrica**, também acompanhado por 05 (cinco) questões, já sugere que o processo de eletrização por atrito era relativamente bem dominado pela comunidade de intelectuais europeus do século XVII, sendo que o aprofundamento dos estudos foi patrocinado pela interação social dos sujeitos com dois artefatos elaborados única e exclusivamente com o intuito de se estudar o fenômeno do movimento dos corpos leves quando inicialmente atritados: o perpendicular, o versório e a máquina elétrica. Principalmente com a máquina elétrica foi possível produzir e estudar o que hoje compreendemos como efeitos da corrente elétrica – o efeito térmico, o efeito fisiológico, o efeito químico, o efeito luminoso e o efeito magnético. O texto também problematiza como o fenômeno de repulsão de corpos leves depois de atritados, antes tido como uma anomalia, foi gradativamente incorporado à teoria da eletricidade.

O terceiro texto, **Da máquina elétrica à Garrafa de Leyden**: o modelo da eletricidade como um fluido, apresenta uma densidade e uma complexidade maior que os dois textos anteriores, vez que os alunos já se encontram mergulhados nas especificidades dos problemas em torno dos quais gravitam a estratégia didática. Para dar conta dos problemas discutidos no texto, foram elaboradas 09 (nove) questões, tratando da

aceleração das pesquisas em eletricidade com elaborações de saberes de caráter empírico e fenomenológico. Aborda diversos conceitos físicos, sendo, portanto, um texto fundamental da estratégia por problematizar o aparecimento dos efeitos da corrente elétrica, o processo de elaboração da série triboelétrica, a condução de eletricidade por longas distâncias e a relação com o inverso da distância, a elaboração de modelos teóricos explicativos nos moldes da ciência moderna, ora em operação analógica com a dinâmica dos fluidos, ora admitindo a eletricidade como um fluido sutil com propriedades mecânicas, a incorporação de alguns fenômenos atmosféricos à teoria da eletricidade.

Finalizando, o quarto texto com o título **Da Garrafa de Leyden à pilha voltaica**: uma teoria constituída sem uma fundamentação em princípios gerais, é o mais denso de todos, acompanhado por 10 (dez) questionamentos. Tem como principal motivação a constituição da teoria eletromagnética nos moldes como a conhecemos hoje, tratando da proposição da ideia do elétron como uma partícula material com propriedades físicas como massa e carga elétrica, dos processos de armazenamento de energia potencial elétrica em dispositivos como as pilhas e baterias, dos avanços em química devido aos processos de eletrólise, da matematização da teoria a partir da analogia tanto com a gravitação universal quanto com a mecânica dos fluidos.

Nos quadros abaixo, apresentam-se possibilidades para trabalhar aspectos da História e Filosofia da Ciência extraídos diretamente dos textos históricos sobre a História da constituição da teoria da eletricidade. Essas informações possuem o objetivo de oferecer subsídios ao docente que deseje problematizar alguns assuntos do eletromagnetismo com vistas a uma compreensão mais ampla dos elementos epistemológicos com os quais a Física se relaciona diretamente, seja no campo da pesquisa aplicada seja no campo do Ensino de Física.

**Quadro 3 -** Correlações entre os conteúdos físicos abordados nos quatro textos e as possibilidades de discussões relacionadas à História e Filosofia da Ciência.

T	CONTEÚDOS FÍSICOS ABORDADOS	ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA E À FILOSOFIA DA CIÊNCIA
1	Gênese dos registros escritos e estudos dos fenômenos elétricos e magnéticos/ Introdução das discussões relacionadas à eletricidade.	Distinção entre o mundo material e os modelos teóricos explicativos acerca desse mundo/Persistência temporal de questionamentos e de limitações das tentativas de repostas a questionamentos/Ciência como tentativa de explicar fenômenos naturais/Relação do conhecimento científico com outras formas de conhecimento como a religião e a mitologia/A ciência como elemento integrante e indissociável de uma dada cultura/A dinâmica temporal da elaboração de saberes científicos.
2	Simplicidade dos primeiros conhecimentos elaborados acerca da eletricidade e do magnetismo/A experiência sensível como uma fonte de saber/Imaginação e descrição na elaboração de modelos explicativos e dispositivos experimentais/Eletrização por atrito e por contato/ Repulsão elétrica	Características temporais de longa duração e de média duração da elaboração de modelos teóricos explicativos em Física/O caráter mediador de um modelo explicativo/As alterações no psiquismo pela mediação com instrumentos materiais em atividades experimentais simples/Existência de diversos modelos teóricos como propostas de explicação para um mesmo fenômeno/A possibilidade do conhecimento pela ação transformadora/Ciência moderna como uma empreitada coletiva
3	Efeitos da corrente elétrica (luminoso, sonoro, químico e fisiológico)/A natureza da eletricidade/ Discussão sobre a natureza da luz/Condução elétrica	O conhecimento científico não é obtido inteiramente, da observação e das atividades experimentais/ Conhecimento científico é elemento integrante das práticas sociais, culturais e políticas de uma dada sociedade/Conhecimentos são elaborados em um espaço e tempo específico e carregam consigo elementos marcantes do espaço e do tempo que os possibilitaram/A maturação de saber possibilita a complexificação de um dado modelo teórico explicativo/As subjetividades, as escolhas políticas e as relações afetivas podem moldar a dinâmica da produção do saber em um dado contexto sócio histórico/Desencantamento do mundo permite a sua quantificação e operacionalização
4	Condução elétrica/Relação entre a distância e a intensidade das interações elétricas/Sistema ACR Efeitos da corrente elétrica (térmico, químico e fisiológico)/Fluidos sutis/ Indução elétrica/Baterias/ Eletroquímica/Raio,	O conhecimento científico pode ser altamente elaborado, dar conta de explicar uma vasta gama de fenômenos e mesmo assim carecer de uma fundamentação em bases sólidas/Pluralidade de caminhos para a elaboração do saber/Diversidade de métodos científicos/ Matematização de modelos teóricos explicativos/ Refinamento material de uma teoria é atrelada à maturação no psiquismo mediada pela instrumento em relação dialética/O papel da analogia na elaboração de modelos explicativos/ A herança cultural como background à disposição do sujeito

trovão e relâmpago como fenômenos elétricos/Carga elétrica e carga elétrica elementar/ Corrente elétrica	conhecedor/A construção de narrativas positivas acerca de determinados sujeitos históricos e o esquecimento deliberado de outros sujeitos igualmente históricos/Controvérsias teóricas como elemento impulsionador do saber
--	---

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 4** - Correlações entre aspectos relacionadas à História e Filosofia da Ciência e aspectos relativos à História da Eletricidade extraídos do Texto 1.

ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA	ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA DA ELETRICIDADE
A diferenciação entre fenômeno natural e modelização teórica acerca do fenômeno investigado.	Na consolidação da História da Eletricidade o fenômeno natural possivelmente tem data de ocorrência antes mesmo da constituição do planeta Terra enquanto o modelo teórico explicativo da eletricidade como conhecimento moderno ganham seus matizes tardiamente no século XVII.
<b>Teses aceitas pelo Realismo Científico (concepção filosóficas do materialismo conceitualista e ficcionista de Mario Bunge)</b> Objetos conceituais possuem uma natureza peculiar e irreduzível (não são ideias, não são nomes e nem processos cerebrais) Os objetos conceituais existem pertencendo a contextos específicos. A existência do conceito é convencional: tanto os objetos conceituais como os seus modos de existência são elaborações humanas, mas fazem referência a um universo real e material Para existir conceitualmente é necessário que um objeto seja pensável por algum sujeito.	Na formação da teoria da eletricidade, diversos conceitos e explicações de fenômenos foram elaborações humanas de grande poder criativo e alto poder de síntese. Os conceitos que compõem a teoria da eletricidade pertencem ao contexto onde essa teoria é válida A teoria da eletricidade só tem sentido e significado na esfera da dimensão humana tanto no plano teórico quanto no plano da materialidade dessa teoria.
Na elaboração de modelos teóricos explicativos há uma conjunção de elementos de longa duração e de média duração.	Na constituição da teoria da eletricidade há a coexistência de elementos de diversas culturas tanto espacial como temporalmente distantes indo desde a antiguidade clássica grega, passando por diversas regiões europeias do período medieval, moderno e contemporâneo.
Os modelos teóricos explicativos são elaborações que podem ou não dar conta da totalidade do fenômeno, sendo que de uma forma ou de	Na História da eletricidade diversos modelos foram propostos como explicação para os fenômenos do raio, relâmpago e trovão sem, contudo,

outra, de tempos em tempos o modelo é confrontado tanto com o fenômeno para qual foi elaborado como com outras propostas de modelos que pretendem dar conta do fenômeno em questão.	da conta de abarcar a totalidade destes fenômenos. Mesmo o modelo aceito nos dias de hoje ainda apresenta uma série de lacunas sobre a as causas e efeitos dos raios principalmente em regiões distantes da superfície do planeta Terra.
A interação dos sujeitos com objetos materiais elaborados com a finalidade de se investigar os fenômenos naturais produzem saltos qualitativos no psiquismo desses sujeitos que por sua vez operam aprimoramentos técnicos nesses objetos materiais que novamente alteram o psiquismo em um loop dialético.	Da elaboração de instrumentos relativamente simples como o perpendicular até o desenvolvimento de instrumentos relativamente complexos, observa-se uma gradativa complexificação e refinamento da teoria da eletricidade, entendidas como uma expressão da maturação do psiquismo possibilitada pela mediação do sujeito com os instrumentos por ele elaborado.

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 5** - Análise das questões do Texto 1

<b>Q</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HABILIDADES ESPERADAS</b>
1	Introduzir o aluno à discussão relacionada à história da eletricidade.	Percepção da existência de estruturas de longa duração na elaboração de modelos explicativos relacionados a teoria da eletricidade.
2	Confrontar as elaborações mitológicas com as elaborações filosóficas iniciais acerca da eletricidade.	Percepção das semelhanças e diferenças entre as proposições explicativas propostas pelas narrativas mitológicas e das especulações filosóficas da antiguidade clássica para a eletricidade e a persistência de alguns elementos oriundos de ambas na contemporaneidade.
3	Diferenciar as especulações filosóficas gregas da proposta de um modelo teórico explicativo segundo as pretensões da nascente ciência moderna	Percepção da existência de explicações para os fenômenos elétricos fundadas no racionalismo, mas com modelos teóricos erigidos a partir de premissas radicalmente diferentes.
4	Confrontar os fatores espaciais e temporais com os elementos presentes no livro De Magnete para identificar possíveis diálogos entre uma e outra dimensão da mesma realidade.	Percepção de que um dado contexto sócio histórico e as elaborações intelectuais, materiais e culturais formam uma totalidade indissociável.
5	Distinguir o salto qualitativo na abordagem da teoria da eletricidade entre o pensamento moderno e a especulação filosófica da Antiguidade Clássica.	Percepção de que a maturação do psiquismo pode proporcionar alterações qualitativas no modo de se interpretar um dado fenômeno natural.

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 6** Correlações entre aspectos relacionadas à História e Filosofia da Ciência e aspectos relativos à História da Eletricidade extraídos do Texto 2.

<b>ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA</b>	<b>ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA DA ELETRICIDADE</b>
O conhecimento científico é uma elaboração sócio histórica.	Na consolidação da História da Eletricidade é observado como a constituição da teoria da eletricidade se relaciona com os elementos sociais, culturais, filosóficos, religiosos e políticos da sociedade que elabora os modelos explicativos sobre eletricidade e como esses modelos dialogam entre si.
As teorias físicas são elaborações conceituais de alto poder de síntese que partem de pressupostos relativamente simples acerca dos fenômenos objetos da investigação rumo a elaborações relativamente sofisticadas.	Os conhecimentos em eletricidade e magnetismo partem de saberes mais pautados na observação e na descrição do comportamento do fenômeno em direção de tentativas de explicações coerentes com a proposta de ciência moderna
Na elaboração de modelos teóricos explicativos há uma conjunção de elementos de longa duração e de média duração.	Na constituição da teoria da eletricidade há a coexistência de elementos de diversas culturas tanto espacial como temporalmente distantes indo desde a antiguidade clássica grega, passando por diversas regiões europeias do período medieval, moderno e contemporâneo.
As elaborações conceituais em Física são empreendimentos coletivos, marcadas por um exaustivo trabalho de investigação e conformação do saber elaborado com os saberes já constituídos	Na elaboração de instrumentos materiais voltados exclusivamente para o estudo dos fenômenos elétricos observa-se a ação de diversos pesquisadores seja para a proposição do instrumento seja para a proposição de um ou outro aperfeiçoamento técnico.
A interação dos sujeitos com objetos materiais elaborados com a finalidade de se investigar os fenômenos naturais produzem saltos qualitativos no psiquismo desses sujeitos que por sua vez operam aprimoramentos técnicos nesses objetos materiais que novamente alteram o psiquismo em um loop dialético.	Da elaboração de instrumentos relativamente simples como o perpendicular até o desenvolvimento de instrumentos relativamente complexos, observa-se uma gradativa complexificação e refinamento da teoria da eletricidade, entendidas como uma expressão da maturação do psiquismo possibilitada pela mediação do sujeito com os instrumentos por ele elaborado.



A elaboração de instrumentos materiais voltados exclusivamente para o estudo de fenômenos naturais específicos possibilitou a observação e a compreensão de características dos fenômenos impossíveis de serem observadas sem o uso desses instrumentos	A proposição da máquina elétrica permitiu o conhecimento de características da eletricidade antes não observados como os efeitos térmico, luminoso, fisiológico e químico.
Fonte: O autor (2020)	

**Quadro 7** Análise das questões do Texto 2

<b>Q</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HABILIDADES ESPERADAS</b>
1	Captar o movimento das ideias sobre eletricidade no século XVII, saindo da catalogação e descrição para a explicação.	Percepção de que as ideias possuem historicidade, elas nascem, permanecem ou podem ser modificadas segundo as necessidades do contexto sócio histórico
2	Apresentar a mediação como elemento catalisador dos saltos qualitativamente superiores nas estruturas psíquicas dos sujeitos que interagem com elementos materiais (instrumentos).	Compreender o conhecimento científico como empreendimento humano possibilitado e limitado pela materialidade de contexto socio histórico da elaboração desse conhecimento.
3	Apresentar a infância do método experimental moderno no contexto da eletricidade a partir da confecção de instrumentos voltados exclusivamente para o estudo dos fenômenos elétricos.	Percepção da base material da ontologia da Física bem como dos procedimentos experimentais elaborados para refutar ou conformar uma dada proposição que se pretende como conhecimento.
4	Evidenciar como alterações no psiquismo são projetadas no mundo material nos melhoramentos técnicos efetuados nos dispositivos relativamente simples desenvolvidos para o estudo da eletricidade.	Percepção da correlação entre a consolidação das teorias físicas com o universo material com o qual essa teoria dialoga.
5	Confrontar os fatores espaciais e temporais com os elementos presentes na teoria moderna da eletricidade para identificar possíveis diálogos entre uma e outra dimensão da mesma realidade.	Percepção de que um dado contexto sócio histórico e as elaborações intelectuais, materiais e culturais formam uma totalidade indissociável.

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 8** - Correlações entre aspectos relacionadas à História e Filosofia da Ciência e aspectos relativos à História da Eletricidade extraídos do Texto 3

<b>ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA</b>	<b>ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA DA ELETRICIDADE</b>
---	--

<p>As transformações sociais, políticas, culturais, econômicas e psíquicas de um dado grupo social formam uma totalidade que possibilita ao passo que contraditoriamente condiciona e limita a produção do saber desse grupo.</p>	<p>Os aperfeiçoamentos técnicos operados nos instrumentos arquitetados para o estudo da eletricidade, as alterações sociais vivenciadas no continente europeu, nas terras colonizadas, no continente americano, no interior da África e nas terras do Oceano Pacífico proporcionam novas experiências intelectuais, sensitivas e emocionais que respingam sobre a constituição de teorias modelos explicativos em eletricidade.</p>
<p>Elaborações experimentais podem ocorrer por tentativa e erro, por simpatia ou por elementos não ligados à racionalidade ou ao próprio método científico defendido como modelo</p>	<p>Melhoramentos técnicos de atividades experimentais como as relacionadas à transmissão da eletricidade pela substituição de um material por outro não tinha uma defesa em critérios claros.</p>
<p>Anonimato e rememoração de atores do passado como pesquisadores relacionados a um campo de saber são construções influenciadas pelo desejo de rememorar algo que justifique uma certa pretensão do presente ao passo que a vontade de esquecer uma outra face desse mesmo passado evidencia a vontade de esquecer o que escapa ao objetivo desse sujeito</p>	<p>Em história da eletricidade há uma grande valorização de sujeitos históricos ligados ao empirismo britânico em detrimento dos nomes de pesquisadores oriundos de outras regiões da Europa, principalmente da França, potência mundial do tempo em questão e principal rival da Inglaterra. Evidencia-se o total esquecimento da participação de países como Portugal e Espanha.</p>
<p>A interação dos sujeitos com objetos materiais elaborados com a finalidade de se investigar os fenômenos sociais produzem saltos qualitativos no psiquismo desses sujeitos que por sua vez operam aprimoramentos técnicos nesses objetos materiais que novamente alteram o psiquismo de modo dialético e assim sucessivamente.</p>	<p>Da elaboração de instrumentos relativamente simples como o perpendículo até o desenvolvimento de instrumentos relativamente complexos, observa-se uma gradativa complexificação e refinamento da teoria da eletricidade, entendidas como uma expressão da maturação do psiquismo possibilitada pela mediação do sujeito com os instrumentos por ele elaborado.</p>
<p>Relações de poder e as relações de produção do capital incidem diretamente no fazer científico onde as pretensões de um grupo política ou economicamente dominante podem moldar as atividades científicas de um dado grupo social</p>	<p>Na história da eletricidade observa-se a tensão velada entre Gray e Hauksbee, onde este último por aderir ao grupo socialmente dominante teve relativa facilidade de trânsito e mobilidade no interior da Sociedade Real de Ciência Inglesa e aquele não teve os seus trabalhos publicados assim como os de seus pares.</p>
<p>O fazer científico não é orientado por um único método científico, onde a validação do saber se dá pela prova experimental matematizada e com rigor e precisão altamente sensível e controlada</p>	<p>A constituição da teoria da eletricidade foi um processo de longa duração marcado por elaborações de conhecimentos de alto poder de síntese consolidados a partir do método experimental rudimentar</p>

	proposto por Francis Bacon e foi gradativamente sendo matematizada e se distanciando da experiência sensível
Um fenômeno pode ser explicado eficazmente por diversos modelos explicativos diferentes. A escolha de um modelo em detrimento dos demais é guiada por um conjunto complexo de fatores tanto internos ao modelo como fatores externos	A proposição do modelo teórico explicativo da eletricidade como sendo um fluido sutil perdeu força frente a ideia da eletricidade como um fluido mecânico devido ao pensamento analógico e devido a consolidação da mecânica dos fluidos
A interação dos sujeitos com objetos materiais elaborados com a finalidade de se investigar os fenômenos sociais produzem saltos qualitativos no psiquismo desses sujeitos que por sua vez operam aprimoramentos técnicos nesses objetos materiais que novamente alteram o psiquismo de modo dialético e assim sucessivamente.	Da elaboração de instrumentos relativamente simples como o pêndulo até o desenvolvimento de instrumentos relativamente complexos, observa-se uma gradativa complexificação e refinamento da teoria da eletricidade, entendidas como uma expressão da maturação do psiquismo possibilitada pela mediação do sujeito com os instrumentos por ele elaborado.

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 9** - Análise das questões do Texto 3

<b>Q</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HABILIDADES ESPERADAS</b>
1	Discutir o processo de aceleração do devir no continente europeu e o processo de aceleração da pesquisa em eletricidade perpetradas por diversas transformações econômicas, sociais, culturais e políticas.	Percepção de que um dado contexto sócio histórico e as elaborações intelectuais, materiais e culturais formam uma totalidade indissociável.
2	Evidenciar como alterações no psiquismo são projetadas no mundo material nos melhoramentos técnicos efetuados nos dispositivos relativamente simples desenvolvidos para o estudo da eletricidade.	Percepção da correlação entre a consolidação das teorias físicas com o universo material com o qual essa teoria dialoga.
3	Compreender como as especificidades espaciais, temporais e elementos subjetivos patrocinam a produção de conhecimento científico.	Percepção de que o estereótipo do gênio solitário e iluminado é uma construção histórica que cumpre funções sociais específicas no que diz respeito à elaboração e na manutenção de imagens específicas de ciência moderna.
4	Compreender que diversas narrativas acerca do passado da teoria da eletricidade deliberadamente se esforçam para silenciar acerca de fatos, pessoas e fracassos que não servem para defender um modelo idealizado de ciência moderna	Percepção de que no decorrer do desenvolvimento da teoria da eletricidade as relações sociais e políticas sobrepesaram sobre os desdobramentos da teoria colocando em evidência um pesquisador e detrimento de outros pesquisadores.

5	Evidenciar que as relações de produção capitalistas bem como as relações sociais no estado democrático de direito norteiam a produção intelectual de uma dada nação segundo os modelos de ciência defendidos pelo capital e pela classe política	Percepção de que o conhecimento não é neutro, sempre tem matizes econômicos e políticos dos grupos sociais que o elabora.
6	Apresentar aos alunos a complexidade da dinâmica da produção do conhecimento científico e da consolidação das teorias físicas onde a observação, a descrição e a atividade experimental não são suficientes para validar um conhecimento em Física os critérios exigidos pela comunidade científica da época para validar ou não uma teoria.	Percepção da existência do fenômeno de repulsão embora observado, descrito e obtido experimentalmente não era interpretado como sendo de natureza elétrica, tendo diversas outras interpretações.
7	Reconhecer o papel da criatividade e da interpretação na elaboração de modelos teóricos explicativos em Física, de modo que a ciência só tem seu sentido no universo humano.	Percepção de que as leis e teorias físicas, embora pretendendo dar conta de fenômenos fora da escala humana, só fazem sentido para o humano compreendido no contexto de suas relações sociais e produtivas.
8	Evidenciar como alterações no psiquismo são projetadas no mundo material nos melhoramentos técnicos efetuados nos dispositivos relativamente simples desenvolvidos para o estudo da eletricidade.	Percepção da correlação entre a consolidação das teorias físicas com o universo material com o qual essa teoria dialoga.
9	Discutir o processo de aceleração do devir no continente europeu e o processo de aceleração da pesquisa em eletricidade perpetradas por diversas transformações econômicas, sociais, culturais e políticas.	Percepção de que um dado contexto sócio histórico e as elaborações intelectuais, materiais e culturais formam uma totalidade indissociável.

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 10** - Correlações entre aspectos relacionadas à História e Filosofia da Ciência e aspectos relativos à História da Eletricidade extraídos do Texto 4.

<b>ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA</b>	<b>ASPECTOS RELATIVOS À HISTÓRIA DA ELETRICIDADE</b>
O conhecimento científico é uma elaboração sócio histórica.	Na consolidação da História da Eletricidade é observado como a constituição da teoria da eletricidade se relaciona com os elementos sociais, culturais, filosóficos, religiosos e políticos da sociedade que elabora os modelos explicativos sobre eletricidade e como esses modelos dialogam entre si.

<p>O conhecimento científico é apenas uma parte do conhecimento humano que é constituído socialmente a partir de conhecimentos de diversas outras naturezas como os conhecimentos materiais do fazer cotidiano, os conhecimentos religiosos e os conhecimentos mitológicos.</p>	<p>Na elaboração da teoria da eletricidade, até o estabelecimento do conceito de elétron e da indicação da sua materialidade, observa-se a coexistência de diversas tentativas de explicações para o fenômeno mesclando elementos racionalistas com crenças religiosas, conhecimentos mitológicos e elaborações conceituais analógicas e simpáticas seja da tradição pagã que permeava o cotidiano seja elaborações oriundas de outros modelos explicativos propostos no bojo da ciência moderna.</p>
<p>A elaboração de um modelo explicativo não é procedimento linear, com etapas claramente especificadas. Antes é uma tarefa complexa, marcada pela não linearidade, onde a teoria pode ser constituída a partir de uma classe particular de fenômenos que carecem de uma fundamentação em princípios gerais</p>	<p>Na constituição da teoria da eletricidade, observa-se que um corpo complexo de saber foi desenvolvido a partir de um gradativo amadurecimento do psiquismo dos sujeitos, mas esse saber só foi fundamentado em princípios gerais quando da constituição e da materialização da ideia do elétron como sendo uma unidade fundamental de carga elétrica</p>
<p>Com o desencantamento da natureza, perpetrado pelo Esclarecimento (<b>Aufklärung</b>), os modelos teóricos explicativos elaborados com o intuito de dar conta dos fenômenos naturais acabam por se confundir com os próprios fenômenos, fazendo parte da cosmovisão do sujeito como sendo uma manifestação verdadeira do universo natural.</p>	<p>A incorporação dos saberes em eletricidade à cosmovisão do pesquisador europeu em Filosofia Natural e Experimental, com crescente carga de abstração e sintetização desses saberes, abarcando diversos fenômenos antes tidos como não elétricos; permitiu estudos sistematizados dos efeitos secundários da eletricidade (produção de luz, efeitos de condução por longas distâncias, efeitos fisiológicos, efeito ACR, efeitos térmicos e efeitos químicos)</p>
<p>Na elaboração de modelos teóricos explicativos há uma conjunção de elementos de longa duração, de média e de curta duração.</p>	<p>Na constituição da teoria da eletricidade há a coexistência de elementos de diversas culturas tanto espacial como temporalmente distantes indo desde a antiguidade clássica grega, passando por diversas regiões europeias do período medieval, moderno e contemporâneo, respingando até no continente americano.</p>
<p>A validação/aceitação social de modelos teóricos explicativos é operada a partir de vários elementos sociais e teóricos de modo que só a evidência da materialidade do fenômeno e a produção/reprodução de procedimentos experimentais não são suficientes para aceitar um conhecimento como científico</p>	<p>No recorte do episódio que se estuda neste texto, pode-se destacar a ocorrência do fenômeno de repulsão sofrido quando dois corpos previamente atritados são colocados na mesma vizinhança e a não interpretação deste por quaisquer modelos teóricos explicativos apesar da observação da ocorrência e da sua reprodutibilidade experimental.</p>
<p>Na constituição de uma teoria física, historicamente, por falta de modelos mentais a partir dos quais seja possível pensar o objeto a ser apreendido e suas relações com os outros objetos já</p>	<p>A gravidade, a eletricidade e o magnetismo possuem uma modelização a partir do inverso do quadrado da distância. Essas duas últimas modelizações foram elaboradas por analogia com a primeira. Diversos fenômenos são explicados a</p>

conhecidos, é frequente lançar-se mão do pensamento analógico, isto é, realizar operações mentais de aproximações sucessivas a partir do background à disposição e que constitui outras teorias já consolidadas	partir dessas modelizações, mas ainda não há uma explicação plausível, fundamentada em elementos materiais consistentes capazes de abarcar a factualidade dessas leis.
O desenvolvimento de um conhecimento científico, a sua sofisticação pode ocorrer tanto em direção à complexificação do saber quando na direção de sua simplificação.	No estudo da história da eletricidade fica evidente a crescente complexidade do modelo teórico explicativo capaz de cada vez mais dar conta de uma vasta gama de fenômenos aparentemente não relacionados como as ligações químicas e os fenômenos atmosféricos. Em outro sentido é observado a simplificação da Garrafa de Leyden e da substituição de ideias fundantes da eletricidade
Na elaboração de teorias físicas os modelos matemáticos são importantes, mas não são condições essenciais para se dar conta de um dado fenômeno.	A matematização da teoria da eletricidade é fato tardio ocorrendo muito depois da elaboração e refinamentos de diversos instrumentos, da maturação do saber e da proposição de um modelo teórico explicativo já consolidado.
Um mesmo modelo matemático pode ter uma pluralidade de interpretações físicas de acordo com os pressupostos acerca da natureza da realidade do fenômeno investigado	Os modelos matemáticos elaborados para dar conta da eletricidade como um fluido sutil ou um fluido mecânico mantiveram a sua validade mesmo depois que a eletricidade ganhou interpretação ondulatória e corpuscular.

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 11** - Análise das questões do Texto 4

<b>Q</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HABILIDADES ESPERADAS</b>
1	Discutir a teoria vigente acerca dos processos de eletrização por atrito, por contato e por indução.	Reconhecer as especificidades dos processos de eletrização: formas de produção, condições de ocorrências e explicações da dinâmica de produção desses processos.
2	Evidenciar como alterações no psiquismo são projetadas no mundo material nos melhoramentos técnicos efetuados nos dispositivos relativamente simples desenvolvidos para o estudo da eletricidade.	Percepção da correlação entre a consolidação das teorias físicas com o universo material com o qual essa teoria dialoga.
3	Compreender que a matematização de uma teoria não é a totalidade da teoria, sendo apenas uma parte constituinte desta. De modo que só tardiamente a teoria da eletricidade foi matematizada nos moldes da ciência moderna.	Percepção da possibilidade de conhecer os fundamentos de uma teoria física de modo qualitativo sem, contudo, recorrer diretamente e de início à matematização do modelo teórico explicativo que pretende dar conta do fenômeno estudado.

4	Compreender que a matematização de uma teoria não é a totalidade da teoria, sendo apenas uma parte constituinte desta. De modo que só tardiamente as teorias físicas nos moldes da ciência moderna foram matematizadas.	Percepção da possibilidade de conhecer os fundamentos de uma teoria física de modo qualitativo sem, contudo, recorrer diretamente e de início à matematização do modelo.
5	Verificar que na falta de modelos mentais a partir dos quais seja possível pensar um objeto a ser apreendido e suas relações com objetos já conhecidos, na constituição de uma teoria física, realiza-se operações mentais de aproximações sucessivas a partir do background à disposição e que constitui outras teorias já consolidadas	Percepção de que a teoria da eletricidade foi constituída a partir da analogia com diversos modelos oriundos da Mecânica Clássica, como a Dinâmica dos Fluidos e a Gravitação Universal, incorporando e ressignificando modelos matemáticos.
6	Apresentar o papel da interpretação e das elaborações analógicas relacionadas às interações produzidas sem contato superficial no contexto do Modelo da Gravitação Universal e a proposição do Modelo da Eletricidade conseguido pela analogia elétrica-mecânica.	Percepção, no contexto das leis do inverso do quadrado da distância, das semelhanças de significantes e as diferenças de significados entre os modelos matemáticos da Lei da Gravitação Universal e a Lei da Força Eletrostática.
7	Evidenciar alguns elementos da dinâmica do estabelecimento das verdades científicas a partir da rede complexa dos elementos compostos pela criação de ideias, busca de correlações dessas ideias com o mundo material e fenomênico, elaboração de atividades experimentais e interpretação dessas atividades; sendo que essa rede ainda interage com o contexto sócio histórico no qual é produzida.	Percepção das disputas entre o modelo do fluido único proposto pelos ingleses e o modelo dos dois fluidos proposto pelos franceses, sendo que ambos apresentavam algumas dificuldades práticas e teóricas ao passo que também forneciam explicações plausíveis para uma vasta gama de fenômenos
8	Evidenciar a persistência, de longa duração, de problemas não elucidados pelo conhecimento científico e a concentração de esforços de diversas gerações na busca do desencantamento de fenômenos físicos como os raios, relâmpagos e trovoes	Percepção da recenticidade da elaboração conceitual de modelo teórico explicativo capaz de dar conta dos raios, relâmpagos e trovoes a partir da teoria da eletricidade e como essa explicação enfraquece o caráter mágico, mitológico e religioso desses fenômenos.
9	Evidenciar alguns elementos da dinâmica do estabelecimento das verdades científicas a partir da rede complexa dos elementos compostos pela criação de ideias, busca de correlações dessas ideias com o mundo material e fenomênico, elaboração de atividades experimentais e interpretação dessas atividades; sendo que essa rede ainda interage com o contexto sócio histórico no qual é produzida.	Percepção das disputas entre os modelos teóricos da eletricidade como tendo origem animal e da eletricidade como podendo ser produzida pela matéria inanimada, sendo que esses dois modelos apresentavam diversas dificuldades práticas e teóricas ao passo que também forneciam explicações plausíveis para uma vasta gama de fenômenos antes não explicados pela teoria.

10	Evidenciar alguns elementos da dinâmica do estabelecimento das verdades científicas a partir da rede complexa dos elementos compostos pela criação de ideias, busca de correlações dessas ideias com o mundo material e fenomênico, elaboração de atividades experimentais e interpretação dessas atividades; sendo que essa rede ainda interage com o contexto sócio histórico no qual é produzida.	Percepção de que os modelos teóricos podem ser elaborados partindo das lacunas presentes nas teorias em direção à realidade fenomênica material, sendo que a admissibilidade da ocorrência de certos fenômenos resolve diversos problemas do modelo teórico, tal como ocorreu com a proposição da ideia de elétron como um corpo massivo com propriedades elétricas.
----	--	--

Fonte: O autor (2020)



Apresentadas algumas possibilidades de problematizações dos textos bem como as categorias analíticas básicas norteadoras da pesquisa, deixamos claro que embora a estratégia didática contenha outros elementos como a atividade livre inicial, a apreciação crítica do documentário e a atividade experimental de cunho histórico, os esforços analíticos serão concentrados nas produções textuais dos alunos principalmente no que diz respeito às repostas às questões do texto, também focaremos nas sínteses integradoras e nas autoavaliações. Isso não quer dizer que não iremos problematizar os demais elementos, mas sim que somente desenvolvemos categorias de análises para as produções textuais já referidas.

#### **4.3.4 As atividades experimentais:**

Uma poderosa ferramenta pedagógica possível é a proposição de atividades experimentais em Ensino de Física, por possibilitar a materialização de diversos elementos teóricos relativos aos fenômenos físicos problematizados como conteúdos em sala de aula, pois historicamente os conceitos teóricos foram gradativamente formados e modificados no processo da experimentação, o mesmo ocorrendo com a formulação das leis fundamentais que descrevem diversos fenômenos (ASSIS, 2018). A realização dessas atividades abre um novo mundo para os alunos onde a ciência pode se concretizar no cotidiano e deitando fora diversas figuras mentais estereotipadas sobre a ciência e o cientista. Assim, o trabalho com experimentos históricos<sup>48</sup> favorece o desenvolvimento, a apreensão e a internalização dos conceitos, a compreensão da validade do experimento frente a construção histórica da teoria, além de permitir a eficácia da atividade experimental (BOSS, 2011).

Como estratégia didática eficaz é recomendado propor experimentos históricos que persigam uma fidelidade aos princípios que garantam a eficácia da atividade experimental de modo a possibilitar o emprego de com materiais facilmente acessíveis em casa ou no comércio (ASSIS, 2018). Sendo recomendado também que os alunos sejam

---

<sup>48</sup> No contexto do Ensino de Física há tendências atuais no que diz respeito à proposição de experimentos históricos. A primeira delas objetiva a replicação ou reprodução, a montagem do experimento buscando reconstitui-lo tal qual o seu passado original, perseguido em diversos documentos históricos. A segunda tendência concentra esforços tanto no caráter explicativo e nos princípios que possibilitam a eficácia do experimento, podendo assim utilizar os materiais atuais e disponíveis, podendo até elaborar uma réplica melhorada do experimento (BOSS, 2011).

os protagonistas de todo o processo da atividade, desde o planejamento dos primeiros passos até a apresentação da atividade (BOSS, 2011).

Vale destacar que os procedimentos experimentais com essas orientações operam com a ressignificação de materiais ordinários do cotidiano material do aluno, dispensando a o laboratório de ciências como o lugar privilegiado na produção da ciência. Com o uso de materiais ordinários ressignificados o laboratório é a sala de aula, o pátio da escola, o quintal de casa. O laboratório é a mente, é o mundo.

Uma vez que este é solicitado a montar o experimento, por método de tentativa e erro, pela criatividade; mesmo que o experimento seja replicado da internet, o aluno tem que adequar a experiência ao seu contexto, sempre buscando alternativas criativas e baratas para a construção do experimento. Além disso, a elaboração do experimento pode desenvolver a habilidade manual do aluno e a sensibilidade de perceber qual o meio mais eficaz de se obter o resultado esperado. O uso dessas práticas pedagógicas diminui o fosso existente entre teoria e prática, além de aumentar a autoestima do aluno, pela sua capacidade de poder desenvolver algo.

Como existem experiências realizadas com diversos níveis de complexidade e de sofisticação, imediatamente o aluno é desafiado a pensar historicamente acerca do processo de constituição do experimento que está elaborando, onde é possível avaliar a engenhosidade e a capacidade criativa dos físicos experimentais. Assim o recorrente uso de experimentos no Ensino de Física na Educação Básica permite ao aluno perceber a diferença fundamental entre a Física e a Matemática. Além disso, nas experiências não são avaliadas somente a capacidade criativa do experimento e sua engenhosidade, como também é avaliada a capacidade de expressão oral do aluno e sua capacidade de compreensão do conteúdo solicitado para explicar o fenômeno ao qual o experimento faz referência (BOSS, 2011).

Ponderando essas recomendações, dividimos a turma em cinco grupos e solicitamos a cada grupo a montagem, apresentação e explicação de um experimento histórico no contexto da teoria da eletricidade, enfatizando a replicação de alguns dispositivos materiais que impulsionaram a constituição dessa teoria. Assim cada grupo ficou responsável por apresentar um dos dispositivos como o pêndulo, o versório, a garrafa de Leyden, a pilha voltaica e a máquina elétrica. Sendo estabelecido apenas a data da apresentação, a natureza do experimento e a elaboração de um roteiro de apresentação, deixando livre todas as outras etapas da atividade.

A divisão da atividade experimental por grupo foi realizada na terceira aula da estratégia didática, logo depois da apreciação crítica do documentário, ocasião na qual também foram explicados os objetivos, e os procedimentos de todas as atividades.

#### **4.3.5 A auto avaliação e a síntese integradora:**

As sínteses temáticas integradoras são produções textuais transdisciplinares, resultado do trabalho com os temas geradores propostos ao longo de toda a estratégia didática e que possuem o propósito de evidenciar em que medida os alunos conseguiram fazer uma elaboração própria dos temas estudados e se eles conseguiram relacionar essas elaborações com outros temas abordados em outras disciplinas ou a elementos de seu cotidiano, tanto no contexto escolar quanto em ambientes fora da escola. Assim, o aluno é provocado a organizar os novos conhecimentos (conteúdos, habilidades e valores, de natureza intelectual, ética e estética), relacionando-os com suas experiências formativas.

Assim, a síntese integradora é uma produção textual livre, no qual, a partir de um fragmento textual que pretende sintetizar em linhas gerais os pressupostos norteadores da estratégia didática, o aluno é convidado a retomar, organizar e integrar as suas ideias acerca da teoria da eletricidade no contexto de sua constituição histórica e dos elementos filosóficos imbricados nessa teoria.

Já a auto avaliação é o momento no qual o aluno é convidado a fazer uma reflexão de acerca de sua participação no conjunto das atividades desenvolvidas ao longo do seu processo formativo, e pretende perseguir as expectativas contempladas ou não, as dificuldades, as aprendizagens, os interesses e as projeções de si no futuro.

Pela alta carga de subjetividade presente nessas duas atividades, espera-se captar indícios, os fragmentos dos significados e dos sentidos elaborados pelos alunos quando finalizado o percurso formativo proposto pela estratégia didática. Assim objetivo dessas atividades é, a partir das produções textuais dos alunos buscar elementos capazes de fornecer pistas de como estes elaboram suas interpretações e representações dos saberes físicos, e a construção da realidade e como essa construção participa da relação do aluno com o mundo. Analisar as produções textuais dos alunos sob a ótica do escopo conceitual discutido ao longo do trabalho tendo como parâmetro de análise a capacidade de problematização do aluno, a profundidade da problematização e a limitação do saber físico diante das inquietações do aluno.

Buscamos identificar nos textos dos alunos o campo semântico de significação da realidade a partir do qual o aluno opera na resolução de problemas solicitados e como esses elementos se relacionam com suas percepções de mundo, traduzidas, significadas ou pelo menos indiciadas pela na escrita.

Para a análise dessas atividades, utilizaremos as técnicas de análises textuais discursivas, que é uma análise textual<sup>49</sup> qualitativa, que trabalha com informações apresentadas em forma de textos, marcados pela subjetividade, formas de interpretar e compreender característicos dos sujeitos envolvidos nessas produções textuais (MORAES, 2005).

De modo operacional e objetivo tanto as sínteses integradoras quanto as auto avaliações foram avaliadas a partir dos seguintes aspectos:

- Relação das ideias centrais da produção textual com os temas problematizados na estratégia didática;
- Índícios de esforço de conter na produção textual ideias e vocabulário internalizados a partir os temas problematizados na estratégia didática;

Assim as unidades de análise foram palavras, frases, parágrafos ou fragmentos de textos ainda maiores que apontavam para os aspectos acima elencados.

Além desses procedimentos, como as atividades propostas foram contabilizadas para a composição da média do quarto bimestre, também foram observados aspectos qualitativos de difícil computação categorial, mas que são imprescindíveis em processos avaliativos, pois não são captados quando da elaboração das produções textuais, como a participação das atividades desenvolvidas em sala, inclusive dos momentos avaliativos, a autonomia na realização das atividades tanto individual como coletivamente e a capacidade de expressão oral quando da apresentação das experiências e quando das discussões em sala.

---

<sup>49</sup> Análises textuais são modos de aprofundamentos e mergulhos em processos discursivos capaz de reconstituir novos discurso [...] a análise textual qualitativa é um processo integrado de análise e síntese, que se propõe a fazer uma leitura rigorosa e aprofundada de conjuntos de materiais textuais, visando descrevê-los e interpretá-los no sentido de atingir uma compreensão mais elaborada dos fenômenos e dos discursos no interior dos quais foram produzidos. (MORAES, 2005, p. 89)

## 5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS PRODUZIDOS

---

*Se a educação científica corteja o objetivo de criar condições para que o indivíduo assuma a posição de sujeito interlocutor no encontro com o saber científico, ela deve investir nas capacidades da percepção, imaginação e interpretação do aprendiz: somente assim o conhecimento gera significado existencial. Os significados existenciais assim gerados retroalimentam o desejo de continuar apreendendo. (SILVA, 2010, p. 25)*

A estratégia didática objeto do presente trabalho é composta de 08 (oito) atividades principais, com gradativa complexidade de problematização à medida que as atividades são solicitadas. Inicia-se com uma atividade livre inicial composta por seis questões abertas, seguido de uma apreciação de um documentário, acompanhada por um roteiro. Depois são problematizados dois textos de baixa densidade de informação acompanhados por cinco questões abertas cada um. Com a ambientação do estudante no campo semântico no qual as discussões mais aprofundadas transcorrem, são problematizados o Texto 03 e o Texto 04, acompanhados por nove e dez questões, respectivamente. Balizados com o ferramental teórico contido nos textos, os estudantes são provocados a realizarem e apresentarem atividades experimentais utilizando materiais ressignificados. Depois de todo esse percurso, os estudantes são submetidos a uma avaliação também aberta, onde são requisitados a elaborar sínteses integradoras.

Ponderando todas as atividades acima elencadas, incluindo também o roteiro de apreciação crítica do documentário, cada estudante será desafiado a responder cerca de 65 (sessenta e cinco) atividades abertas de 32 (trinta e dois) alunos de uma turma da terceira série do Ensino Médio da Escola Militar Tiradentes V, no município de Timon, totalizando 2080 (duas mil e oitenta questões). Entretanto, o esforço empenhado nas discussões do presente capítulo centra interesse principal, nas atividades que acompanham os textos e nas sínteses integradoras. Dessa feita, cada estudante idealmente produziu 29 respostas e uma síntese integradora, como são 32 alunos, os dados problematizados estão idealmente contidos em 960 (novecentos e sessenta) produções textuais dos alunos. Entretanto as demais atividades também foram ponderadas, mas não foram o centro das discussões.

Ao longo das atividades foi percebido uma gama bastante heterógena de respostas, com os mais variados argumentos e problematizações. Como critério de organização do material e de avaliação quantitativa, classificamos as questões em quatro categorias

básicas. A primeira delas de peso unitário, onde estão inseridas as **respostas consideradas totalmente corretas**, isto é, onde o aluno consegue elaborar a resposta com propriedade. Na segunda categoria, de peso 0,5 estão as **respostas consideradas parcialmente corretas**, onde o aluno, por uma dificuldade de expressão ou pela não compreensão do conhecimento necessário para responder ao que é solicitado, não consegue expor seus saberes com um mínimo de coerência e coesão. Foi percebido também que alguns alunos, por motivos não identificados quando da pesquisa, não integralizaram o que foi solicitado respondendo as questões de modo diverso, porém manifestando saberes importantes e verdadeiros no contexto da estratégia proposta, assim tais respostas foram classificadas como **respostas incorretas de enunciando verdadeiro em outro contexto**, tendo um peso de 0,25. E por fim, classificamos as **respostas totalmente incorretas com enunciado falso em outros contextos**, com peso zero como sendo as repostas sem valor lógico de verdadeiro e falso e que não dialogam com o que foi proposto ao longo da estratégia didática.

Essa categorização foi necessária, primeiro devido ao desejo de desenvolver práticas avaliativas inclusivas em Física, valorizando os modos de pensar e expressar indiciados nas produções textuais, depois como critério de organização dos dados produzidos, para posteriormente identificar elementos capazes de indicar regularidades a partir das quais seja possível inferir acerca de aspectos qualitativos importantes e aqui problematizados.

### **5.1 A atividade inicial**

Conta com 06 (seis) atividades propostas a 32 alunos, totalizando 192 respostas esperadas. Desse total, obtivemos 129 (64,79%) de respostas efetivadas, em 186 linhas e 2290 palavras, uma média de 1.5 linha e 18 palavras por questão. Das 63 questões não respondidas, a sexta questão teve um total de 16 (dezesesseis abstenções), seguidas da segunda e quinta questão com 11 abstenções, 10 abstenções na primeira e terceira questão, sendo que a quarta questão teve o menor número de abstenção, somente 7.

As 129 respostas produzidas, foram distribuídas entre 19 respostas totalmente corretas (14.73%), 47 respostas parcialmente certas (36.43%), 47 respostas consideradas erradas e com enunciados corretos em outro contexto (36.43%) e somente 16 respostas consideradas erradas com enunciado incorreto em outro contexto (12.40%). É importante observar que mais de 72% das respostas produzidas se concentram na faixa entre as respostas parcialmente corretas e respostas incorretas, mas com enunciados verdadeiros,

o que pode indicar que as avaliações abertas são mais adequadas que os testes objetivos de múltipla escolha como instrumentos avaliativos capazes de captar as significações elaboradas pelos estudantes quando engajados em atividades formativas.

Considerando a complexidade dos questionamentos e a média de 1.5 linhas e 18 palavras por respostas, sendo que ao desconsiderar termos gramaticais de ligação e coerência entre as palavras significativas, isto é, ponderando somente substantivos, verbos e adjetivos em detrimento de artigos, conjunções e preposições, a média de palavras significativas diminui bastante, indicando que as respostas elaboradas apresentaram baixa quantidade de informação, caracterizadas por resposta unidimensionais a um estímulo produzido pela questão.

As três primeiras questões problematizam circuitos elétricos simples alimentados por uma bateria, contendo inicialmente uma lâmpada, onde depois é acrescentada mais uma lâmpada e depois um resistor. Nas três ocasiões o aluno é inquirido sobre a intensidade da corrente elétrica logo depois que esta percorre os elementos do circuito. Mesmo já tendo estudado formalmente o conteúdo, passado por processos avaliativos sistematizados e organizados pela escola, uma grande quantidade de alunos não obteve êxito na resolução desses problemas, sendo que foram recorrentes as respostas afirmando que a corrente elétrica diminuiria ao percorrer uma lâmpada ou um resistor.

Nesse aspecto é flagrante a não significação do saber em Física quando problematizado nos moldes fossilizados de cunho operacionalista, vez que as respostas indicam que diversos alunos não conseguiram distinguir energia elétrica e corrente elétrica. Sabemos que a função da corrente elétrica é fornecer energia potencial elétrica para um dado elemento de um circuito. Quanto mais elementos compõem um mesmo circuito, sem, contudo, não se alterar a bateria que o alimenta, é certo que a energia total disponível terá que distribuída por esses elementos. Entretanto, a corrente elétrica não se altera ao longo de uma distribuição de dispositivos em série. A diminuição da corrente elétrica após esta percorrer um dado dispositivo de um circuito violaria o princípio da conservação das cargas, um dos fundamentos da teoria da eletricidade. Assim, identificamos três problemas conceituais básicos, e um indicativo de limitação da abordagem operacionalista em Ensino de Física.

Em relação aos problemas conceituais entendemos que os alunos confundiram energia potencial elétrica e corrente elétrica, também não atentaram para o princípio de conservação das cargas elétricas e não compreenderam que um resistor tem a finalidade de transformar a energia potencial elétrica essencialmente em calor. Quanto à abordagem

operacionalista, a atividade explicitou a incapacidade de o aluno responder de modo satisfatório uma atividade relativamente simples, sem, contudo, ser preciso realizar quaisquer operações matemáticas.

As três últimas questões da atividade inicial tiveram como objetivo inserir os alunos em situações contextualizadas envolvendo fenômenos relacionados a processos de eletrização, solicitando dos alunos elaborações de explicações para os fenômenos apresentados. Na quarta questão é explorada a situação de eletrização por contato entre os pelos do braço de uma pessoa e a tela de uma televisão imediatamente desligada, na quinta questão exploramos os três processos de eletrização (atrito, contato e indução) quando uma pessoa penteia o cabelo seco em dias secos e na sexta questão buscamos uma analogia entre os fenômenos elétricos (som e faísca) manifestados em geral quando se coloca os terminais da tomada de um dispositivo elétrico na rede doméstica e os fenômenos atmosféricos de raio, relâmpago e trovão.

Nessa ordem, as questões apresentam um grau crescente de dificuldade, sendo preciso um relativo esforço intelectual, uma capacidade sintética e um poder explicativo oriundo de alguns assuntos ainda não vistos pelos alunos. É interessante relatar que a questão mais respondida foi a quarta, indicando que mesmo sem os conhecimentos formais acerca do problema, os alunos foram capazes de elaborar respostas satisfatórias, sendo que à medida que foi exigido maior complexidade das respostas, essas se demonstraram limitadas.

Merece destacar que a última questão da atividade inicial livre versa sobre os fenômenos atmosféricos como fenômenos elétricos, entretanto os alunos não demonstraram a habilidade de pensamento analógico, mesmo compreendendo que o raio possui natureza elétrica. Os alunos não conseguiram estabelecer relações entre um fenômeno e outro, sendo esta questão a campeã em abstenções, indicando assim a necessidade da elaboração e proposição da estratégia didática capaz de dar conta de fornecer explicações para as realidades indicadas nos questionamentos presentes na referida atividade.

## **5.2 A apreciação crítica do documentário**

A apreciação crítica do documentário conta com um total de 28 atividades propostas a 32 alunos, totalizando 896 respostas esperadas, divididas em quatro atividades distintas: a leitura geral com 11 questões, a leitura interna com 5 questões e duas leituras ideológicas com 3 e 9 questões respectivamente.



Mesmo não sendo o centro de discussão dos dados produzidos a apreciação crítica do documentário é uma etapa extremamente importante e indissociável da presente estratégia didática, vez que a partir dessa apreciação o aluno estará apto a confrontar a narrativa histórica presente no documentário com as narrativas presentes nos textos históricos propostos. Como a atividade foi entregue aos alunos imediatamente antes da exibição do documentário e recebida somente no final da estratégia didática, 25 (78.12 %) alunos não fizeram a atividade. Dos 07 (21.88%) alunos que entregaram a atividade, somente dois integralizaram todas as quatro leituras.

Buscando compreender esse elevado número de abstenções podemos aventar algumas explicações que podem estar relacionadas à grande liberdade de prazo para a entrega da atividade, a dificuldade intrínseca da atividade, o ineditismo da requisição a pensar elementos antes nunca pensados pelos alunos, o não estabelecimento da correlação entre o solicitado nos questionamentos e o mote principal da estratégia didática fruto do presente trabalho. Uma possível resposta para o problema verificado pode levar em consideração todos esses elementos ou apenas alguns deles.

O grande intervalo de tempo entre a proposição da atividade e a sua entrega, deixando esta para ser integralizada de modo processual como tarefa para casa, favoreceu o relaxamento dos alunos que, como a estratégia didática foi implementada no quarto bimestre, finalizando o ano letivo, possivelmente passaram a se preocupar com outras atividades e outras disciplinas buscando evitar uma reprovação, recuperação ou prova final. Também mesmo sem essa pressão pela aprovação no ano letivo, o tempo dilatado da atividade possível e erroneamente foi interpretado como se a atividade apresentasse pouco valor pedagógico. Também pode evidenciar o baixo raio de ação do protagonismo estudantil, vez que algumas atividades só são integralizadas depois de muita pressão e insistência institucional.

O problema do ineditismo da atividade proposta e a sua dificuldade intrínseca são dois problemas correlacionados, vez que o desafio é problematizar o audiovisual como um texto a ser lido, retirando-o da sua esfera do imediato, do entretenimento vazio e dissociado da atividade intelectual. Para responder à atividade proposta dificilmente o aluno teria êxito apenas com uma única interação com o documentário proposto, sendo preciso revê-lo mais de uma vez e com o olhar municiado, revisitando os questionamentos e se colocando como problema a ser investigado. Na apreciação crítica do documentário, são objetos de investigação tanto o que é olhado, o documentário em si, como o olho que

olha, a recepção da imagem pelo espectador, não como uma recepção livre, mas como uma recepção pedagógica e multifuncional.

Como consequência direta do problema acima aventado, a não correlação imediata com os temas da estratégia didática proposta evidencia a limitação da capacidade de leitura crítica dos alunos, sendo que diversos deles interpretaram a narrativa histórica apresentada pelo documentário como um reforço complementar positivo das narrativas contidas nos textos históricos da estratégia didática, quando na verdade o objetivo é justamente o contrário: confrontar duas formas distintas de narrativas, uma associada ao modo consagrado de narrativa histórica relacionada à episteme moderna e outra narrativa com vista a superar esse consagrado.

A complexidade da atividade de apreciação crítica impossibilitou a efetivação principalmente das leituras ideológicas do documentário, a leitura dos implícitos, do dito para além da imagem, dos diálogos, dos enquadramentos, dos cenários, dos figurinos. Essas leituras são efetivadas depois de uma certa familiaridade com a atividade, tal como uma partida de xadrez. Não adianta saber as regras e nem o movimento das peças, é preciso antes de tudo praticar, perder diversas partidas antes de começar a jogar com propriedade. Mas caso não se comece, nunca se terá o gosto de um xeque mate.

Assim os poucos alunos que se permitiram enveredar pela apreciação crítica do documentário só deram conta da primeira leitura, a leitura mais geral da produção, com respostas extremamente curtas. As respostas dos alunos à leitura geral do audiovisual indica que o gênero documentário não é apreciado, sendo que somente um aluno relatou que consome esse tipo de produção. Considerando que o documentário é um gênero com linguagem própria, a não familiaridade com o mesmo dificulta a compreensão dessa linguagem e compromete a eficácia das atividades pedagógicas que tenham como ferramenta o documentário, sendo, pois, necessário uma educação do olhar tanto dos alunos quanto dos professores que desejam trabalhar com tal produção audiovisual.

O documentário não está na lista das produções audiovisuais preferenciais dos alunos, antes os filmes ficcionais das mais variadas naturezas constam nessa lista, onde é a passividade do espectador, pautada no excessivo estímulo dos sentidos e em apelos de grande carga emotiva, empobrece as possibilidades de leituras críticas da produção.

Partindo da apreciação crítica do documentário feita por alguns alunos<sup>50</sup>, foi possível produzir as seguintes ponderações:

Aluna Vila Angélica<sup>51</sup>

Afirma sentir atração por filmes que a emociona, e que não tem preferência por documentários, diz que foca na trama do filme. Não se identifica como telespectadora ativa ou passiva, não elabora estimativas do valor do filme. Reconhece a grande influência da cultura visual norte americana no consumo audiovisual brasileiro. Não consegue relacionar os cenários com o enredo da narrativa

Nas suas respostas, não consegue identificar como assunto principal do documentário uma leitura específica da história da eletricidade. Ver como protagonista o narrador do filme que é um professor de Física, que conta sobre “o início da física”.

Relata que a proposta do documentário é a mesma proposta de atividades desenvolvidas em sala de aula [Existe grandes diferenças entre as duas propostas]. Aponta uma dimensão de longa duração presente na narrativa do documentário.

Não conseguiu fazer uma leitura interna do filme. Percebe todos os personagens do filme como fictícios [Distanciamento espaço temporal pode produzir esse caráter ficcional das narrativas históricas]

Aluno Boa Vista

Explicita seu gosto por determinadas produções audiovisuais, mas não cita o documentário, não adota uma postura de expectador ativo, não problematiza a construção da narrativa fílmica, embora foque na interpretação do ator e no enredo [contradição]. Percebe o filme como uma elaboração ótica. Não gosta de filmes que não o envolve [qual o critério de envolvimento/engajamento no filme]. Leitura superficial e contraditória, indicando que realizou apenas a leitura geral.

---

<sup>50</sup> Os textos dos alunos aos quais nos referimos constam nos anexos, vez que os reproduzir integralmente ao longo do texto ocuparia um espaço desnecessário, vez que tais textos não são objetos centrais da discussão. Dos sete textos produzidos, incluímos os cinco mais relevantes por apresentar diversas contradições e por indiciar a dificuldade do estudante em realizar leituras de produções audiovisuais do gênero documentário histórico.

<sup>51</sup> Os nomes dos alunos foram substituídos por nomes de bairros do município de Timon, garantindo o anonimato e o desejo da impessoalidade manifestado em pesquisas sociais. Usaremos essa dinâmica de substituição em todos os casos que seja necessário fazer referência aos alunos.

Aluna Vila João Reis

Relata não gostar de filme que tenha enredo excessivamente fantasioso ou uma narrativa romântica, antes valoriza filmes de comédia ou os filmes que não exigem muito trabalho intelectual, isto é, filmes que tenham um forte apelo emocional e para ela é como estivesse sendo parte ativa do enredo do filme. Mas quando não tem interesse no filme fica entediada e sente sono. Ao escolher um filme, se concentra em diversos elementos textuais do mesmo dando maior ênfase ao enredo.

Diz que não consegue explicar como consegue manter uma relação de atenção com o filme, mas observa com espanto que após assistir um filme muita coisa do mesmo fica retido na sua memória. Ora a eficácia de um apelo fílmico se deve ao grande desenvolvimento da cultura visual no mundo contemporâneo e por isso, pode ser problematizado em sala de aula, mas para isso é necessário proporcionar uma formação mínima do expectador negando a passividade da excitação dos sentidos em detrimento de uma postura ativa na problematização dos diversos elementos que se mesclam para formar uma totalidade instantânea que se mostra sem se desvelar ao olhar do expectador passivo.

Entende um filme como uma produção audiovisual que tem por finalidade o entretenimento e, com o uso da conjunção coordenativa de adversidade – a conjunção “mas” – (ligando duas orações de sentidos semânticos equivalente e com sentido de oposição ou adversidade), deixa claro que o filme também pode ser consumido com a finalidade de conhecer. Assim na concepção da aluna não é possível na apreciação de uma produção audiovisual elaborar uma síntese capaz de simultaneamente se obter entretenimento e conhecimento. Também revela uma crença de que os meios e espaços de obtenção de conhecimento na sociedade na qual está inserida são austeros e áridos, onde o filme não toma parte.

Também concebe um filme como uma produção coletiva que envolve uma rede complexa de elementos, sendo extremamente caro, o que pode explicar a dominação do mercado brasileiro pelas produções audiovisuais norte-americanas vez que Hollywood é mais desenvolvido.

Aluna Vila Monteiro

Foi uma das poucas a dar conta das atividades solicitadas na apreciação crítica do documentário, sendo também a única a manifestar interesse por filmes épicos ou

motivados por narrativas não ficcionais, documentários e ficção científica, tendo predileção por produções instigantes, que provocam a reflexão, exigindo trabalho intelectual para a sua elucidação. Ao escolher um filme, centra a atenção tanto nos detalhes apresentados quanto no enredo. Assim, na sua concepção é possível na apreciação de uma produção audiovisual elaborar uma síntese capaz de simultaneamente se obter entretenimento e conhecimento.

Atenta que um espectador ora adota uma postura ativa ora uma postura passiva diante de um filme, evidenciando uma compreensão da apreciação de um filme como uma realidade social em movimento, um diálogo entre expectativa e consumação, o que foi uma característica única de sua resposta.

Relata que não gosta de filmes nos quais os atores não conseguem interpretar os papéis conforme sua expectativa ou com uma fotografia considerada ruim. Cita, mas não desenvolve a problemática do gosto.

Entende um filme como uma produção audiovisual coletiva, que emprega diversos especialistas e uma rede complexa de elementos, embebida de elementos ideológicos e relativamente cara.

Quanto à leitura interna, encara a produção como biográfica, histórica e que evidencia os responsáveis pela eletricidade, citando os sujeitos que tiveram parte no documentário e a mudança no mundo a partir da possibilidade de armazenamento de eletricidade e a partir da curiosidade de alguns homens, que se apresentavam como mágicos, mas que diferiam dos demais homens por investir seus esforços e curiosidades na elucidação dos problemas da eletricidade

Quanto ao aspecto ideológico, compreende a narrativa apresentada no documentário como a verdade sobre a ocorrência dos fatos apresentados. Acrescenta ainda que por ser científico é direto, claro e objetivo, tanto no âmbito do discurso falado quanto do discurso imagético. Por outro lado, diz que os personagens que parece no filme parecem fictícios devido ao caráter genial desses personagens. Nesse ponto da leitura e interpretação do documentário, a aluna apresenta concepções contraditórias acerca tanto da produção do gênero documentário quanto dos personagens históricos por ela apresentados.

Se por um lado entende um filme como carregado de elementos ideológicos, por outro compreende o documentário histórico como cientificamente claro e objetivo, representando e contendo a verdade sobre o passado, fazendo isso nos moldes como ela acredita que deve ser apresentado o conhecimento científico. Se assim o faz, os

personagens deveriam ser apresentados de modo verdadeiro, objetivo e claro, no entanto esses critérios de apresentação da verdade são ofuscados pela genialidade dos personagens. Assim se um filme tem a sua dimensão ideológica, a aluna não conseguiu ultrapassar a espessura dessa ideologia, nela ficando retida.

Identifica a valorização da participação dos londrinos, ingleses e austríacos em detrimento dos demais europeus. Também observa o caráter excludente das apresentações públicas de experimentos elétricos, onde apenas determinados grupos sociais tinham acesso aos espetáculos.

Nenhum aluno sequer reconhece a existência do gênero documentário, de modo que as possibilidades de leitura e de problematização da rica e complexa linguagem audiovisual do documentário fica empobrecida pela apreciação do dado imediatamente, que se encerra no instante da cena, sem uma projeção regressiva ou progressiva das experiências dos alunos seja as referentes ao contexto escolar seja as referentes à vida fora da escola. Tal realidade tem profundas implicações no contexto do uso de produções audiovisuais como ferramentas pedagógicas em Ensino de Física, sendo necessário, portanto um trabalho extensivo de maturação do olhar.

### 5.3 Os textos históricos

Foram propostas quatro atividades, uma para cada texto, sendo que as duas primeiras com cinco questões, a terceira com 09 e a quarta com 10 questões, em um total de 29 questões propostas a 32 alunos, o que totaliza 928 respostas esperadas, sendo 160 questões para cada um dos dois primeiros textos, 288 para o terceiro texto e 320 para o segundo texto, conforme a tabela a tabela abaixo:

**Tabela 5** – Características quantitativas das repostas dadas aos textos

Atividade	Q	T	R	NR	C	PC	E	EEC
Texto 1	5	160	147	13	20	63	59	5
Texto 2	5	160	154	6	57	79	11	7
Texto 3	9	288	257	31	24	88	100	45
Texto 4	10	320	203	117	35	71	77	20
Total	29	928	761	167	136	301	247	77

Fonte: O autor (2020)

Ainda segundo a tabela 5, o Texto 01 contou com 13 (8.12 %) questões não respondidas, e 147 (91.88 %) questões respondidas. Das questões respondidas, 20 (13.60 %) delas foram consideradas totalmente corretas, 63 (42.86 %) parcialmente corretas, 59

(40.13%) totalmente erradas com enunciados incorretos em outros contextos e apenas 05 (3.40 %) erradas e com enunciado correto em outros contextos.

Já o Texto 02 apresentou 06 (3.75 %) questões não respondidas, e 154 (96.25 %) questões respondidas. Das questões respondidas, 57 (37.01 %) delas foram consideradas totalmente corretas, 79 (51.30 %) parcialmente corretas, 11 (7.14%) totalmente erradas com enunciados incorretos em outros contextos e apenas 7 (4.54 %) erradas e com enunciado correto em outros contextos

O Texto 03 contou com 31 (10.76 %) questões não respondidas, e 257 (89.92 %) questões respondidas. Das questões respondidas, 24 (9.34 %) delas foram consideradas totalmente corretas, 88 (34.24 %) parcialmente corretas, 100 (38.91%) totalmente erradas com enunciados incorretos em outros contextos e apenas 45 (17.51 %) erradas e com enunciado correto em outros contextos.

Por último, o Texto 04 contou com 117 (36.56 %) questões não respondidas, e 203 (63.34 %) questões respondidas. Das questões respondidas, 35 (17.24 %) delas foram consideradas totalmente corretas, 71 (34.97 %) parcialmente corretas, 77 (37.93 %) totalmente erradas com enunciados incorretos em outros contextos e apenas 20 (9.85 %) erradas e com enunciado correto em outros contextos.

De acordo com os dados acima tabulados, fica evidente que a maioria das respostas produzidas se concentram na faixa parcialmente correta, seguida das respostas erradas e com enunciados incorretos, depois as respostas totalmente corretas e por fim as respostas erradas com enunciados corretos em outros contextos. Tal fato é um indicativo da necessidade de adotar ferramentas avaliativas em Ensino de Física capazes de captar os saberes dos estudantes em suas zonas de desenvolvimento potencial ao invés de valorizar somente a resposta final acabada e imaculada.

Nos próximos tópicos, vamos discutir as especificidades das respostas dadas a cada texto, incluindo aí, as informações quantitativas e qualitativas acerca de cada questão referentes aos textos problematizados na estratégia didática.

### **5.3.1 O texto 01: Dos fenômenos aos registros escritos: a domesticação de um olhar pelas tentativas de explicação**

Como fora dito anteriormente, devido a seu caráter introdutório o Texto 1 possui baixa densidade informativa, de modo que não apresentou muitas dificuldades para a sua

elucidação, o que fica explícito no modo como as respostas foram elaboradas e na pequena quantidade de abstenções de respostas, conforme mostrado na tabela 6:

**Tabela 6** - Características quantitativas das repostas dadas às questões do Texto 1

Atividade	TEXTO 1					
Questão	1	2	3	4	5	Total
Quantidade de questões	32	32	32	32	32	<b>160</b>
Respondida	30	30	30	30	27	<b>147</b>
Em branco	2	2	2	2	5	<b>13</b>
Linhas	127	256	105	131	90	<b>709</b>
Palavras	<b>1522</b>	<b>2897</b>	<b>1196</b>	<b>1510</b>	<b>1051</b>	<b>8176</b>
Fonte: O autor (2020)						

De acordo com as informações acima, cada questão deixou de ser respondida somente por dois participantes, exceto a quinta questão, que devido à sua exigência de elaboração de síntese, deixou de ser respondida por cinco participantes. Na elaboração das respostas, os dados produzidos apresentaram uma grande quantidade de informações, manifestadas em um total de 709 linhas digitalizadas, o que implica que em média cada aluno produziu cerca de 22.15 por texto e 4.42 linhas por questão, incluindo nessa contabilidade as questões não respondidas.

Como indicador quantitativo, a quantidade de linha por questão, fornece um panorama da dificuldade que os participantes possuem na produção textual e na elaboração de respostas capazes de abarcar a totalidade do que fora solicitado nas perguntas. Usando tal indicador podemos perceber que a maior dificuldade foi na quinta questão onde a média de linhas por resposta cai 2.81 ao passo que a maior facilidade se deu na segunda questão onde o indicador adquire valor 8.

A tabela abaixo possui tanto informações qualitativas acerca das categorias observadas em cada questão do Texto 01, as falas mais representativas e que mantêm algum diálogo com o objetivo pretendido no questionamento bem como o percentual de acerto e o valor quantitativo de cada acerto



**Tabela 7** - Quantitativo e percentual das repostas corretas dadas a cada questão do Texto 01

<b>Q</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HABILIDADES ESPERADAS</b>	<b>QTD</b>	<b>%</b>
1	Introduzir o aluno à discussão relacionada à história da eletricidade.	Percepção da existência de estruturas de longa duração na elaboração de modelos explicativos relacionados a teoria da eletricidade.	4.75	14.85
2	Confrontar as elaborações mitológicas com as elaborações filosóficas iniciais acerca da eletricidade.	Percepção das semelhanças e diferenças entre as proposições explicativas propostas pelas narrativas mitológicas e das especulações filosóficas da antiguidade clássica para a eletricidade e a persistência de alguns elementos oriundas de ambas no tempo contemporâneo.	4.8	15
3	Diferenciar as especulações filosóficas gregas da proposta de um modelo teórico explicativo segundo as pretensões da nascente ciência moderna	Percepção da existência de explicações para os fenômenos elétricos fundadas no racionalismo, mas com modelos teóricos erigidos a partir de premissas radicalmente diferentes.	12.75	39.85
4	Confrontar os fatores espaciais e temporais com os elementos presentes no livro De Magnete para identificar possíveis diálogos entre uma e outra dimensão da mesma realidade.	Percepção de que um dado contexto sócio histórico e as elaborações intelectuais, materiais e culturais formam uma totalidade indissociável.	9.25	28.90
5	Distinguir o salto qualitativo na abordagem da teoria da eletricidade entre o pensamento moderno e a especulação filosófica da Antiguidade Clássica.	Percepção de que a maturação do psiquismo pode proporcionar alterações qualitativas no modo de se interpretar um dado fenômeno natural.	13.0	40.62

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 12** – Respostas representativas das questões do Texto 1

Q	FALA REPRESENTATIVA
1.	<p>Existia a explicação mitologia, que os raios e raios e trovões eram manifestações dos deuses com o plano terreno. E existia a explicação aristotélica que os raios e os trovões eram causados pelo atrito de duas nuvens. (Aluno Joaquim Pedreira)</p> <p>[Na Antiguidade Clássica os efeitos elétricos se reduziam aos fenômenos de atração de corpos leves proporcionados pelo âmbar previamente atritado, de modo que os fenômenos atmosféricos só entraram no bojo das explicações da teoria da eletricidade somente com os trabalhos de Benjamin Franklin]</p>
2.	<p>a) Ao longo do processo civilizatório que cronologicamente constitui a própria idade da humanidade, os raios podem ter sido a primeira fonte de fogo, sem a qual, possivelmente não haveria o desejo de controle do fogo e nem o desejo de elucidá-lo seja na perspectiva da mitologia seja na perspectiva da tecnologia. (Aluno Vila João Reis)</p> <p>b) Ele [Aristóteles] fala que o trovão é a colisão entre a nuvens e o raio um incêndio de uma exalação causada por ela, por que naquele tempo não se tinha ideia que o raio e o relâmpago e trovão era coisas diferentes logo ele achava que tudo era a mesma coisa (Aluno Residencial Cocais)</p> <p>c) Aristóteles usa a razão para explicar os fenômenos, já a mitologia associa esses fenômenos como manifestações diversas, como formas de comunicação como o plano divino. (Aluno Novo Tempo)</p> <p>d) sim tinha um pensamento que os raios e trovão eram antigos e vinham de Deus. A persistência da explicação do pensamento aristotélico e a explicação lemos e eficientes do que os mitos</p>
3.	<p>Foram preservadas de forma tal qual estes, aqueles foram transmitidos através das trocas culturais e da preservação temporal de alguns documentos ambos tanto o âmbar quanto a magnetita, pois embora fazendo parte da produção material, tenham um caráter mágico e produziam fascínio e encantamento em que as observava, desse modo, pois esse caráter foram atribuídas propriedades terapêuticas e medicinais. (Aluno Pedro Patrício)</p>
4.	<p>A obra tem conhecimentos disponíveis acerca do magnetismo e do âmbar; propõe formas novas e originais de pensar os problemas relacionadas aos objetos em questão, além de propor tanto terminologias específicas quanto elaborações explicativas fundamentais na experimentação. (Aluno Joaquim Pedreira) [Aluno fala da obra, mas não do contexto na qual foi produzida]</p>

- |    |   |
|----|---|
| 5. | <p>Se antes uma mudança na forma de pensar os movimentos de atração em corpos atritados no âmbar só eram documentados em intervalos de tempo milenares, os dispositivos criados única e exclusivamente para estudar tais movimentos, a saber o versório e o perpendicular, o trabalho dos compiladores de dados acerca dos materiais que apresentavam as propriedades atrativas quando atritados, o trabalho de filósofos naturais que elaboravam representações explicativas dos fenômenos estudados e o trabalho dos filósofos experimentais que tanto colaboraram para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos instrumentos utilizados nos estudos e experimentais quanto proporcionaram interações dos sujeitos com os instrumentos que favoreceram o desenvolvimento do psiquismo capaz de fomentar e enriquecer as representações explicativas. (Aluno Novo Tempo) [Resposta correta]</p> |
|----|---|

Fonte: O autor (2020)

De acordo com a tabela acima, ponderados os pesos atribuídos a cada resposta, o menor êxito ocorreu na elucidação da primeira questão devido à grande fuga das respostas em relação ao solicitado, seguido da segunda questão (que contem quatro itens diferente a serem respondidos), depois a quarta questão, a terceira e por último a quinta questão. Diante dos dados podemos inferir que embora na segunda questão temos o indicador 8 da relação linhas por questão, na quinta questão temos uma maior qualidade das respostas produzidas, indicando que os poucos alunos que a responderam o fizeram com propriedade.

### 5.3.2 O texto 02: Dos primeiros dispositivos materiais à máquina elétrica

O Texto 2 também possui caráter introdutório e por isso baixa densidade informativa, não apresentando, portanto, muitas dificuldades para a sua elucidação, o que fica explícito no modo como as respostas foram elaboradas e na pequena quantidade de abstenções de respostas, conforme mostrado na tabela 9:

**Tabela 8** - Características quantitativas das repostas dadas às questões do Texto 2

Atividade	Texto 2					
	1	2	3	4	5	Total
Questão						
Quantidade de questões	32	32	32	32	32	<b>160</b>
Respondida	32	31	31	31	29	<b>154</b>
Em branco	0	1	1	1	3	<b>6</b>
Linhas	121	93	278	163	111	<b>732</b>
Palavras	1214	1018	3603	2142	1185	<b>9162</b>

Fonte: O autor (2020)

De acordo com as informações acima, cada questão deixou de ser respondida somente por um participante, exceto a primeira questão, que não teve nenhuma abstenção, e a quinta questão, que, novamente, devido à sua exigência de elaboração de síntese, deixou de ser respondida por apenas três participantes. Na elaboração das respostas, os dados produzidos apresentaram uma grande quantidade de informações, manifestadas em um total de 732 linhas digitalizadas, uma quantidade de linhas ligeiramente maior que a quantidade de linhas produzidas no Texto 01, o que implica que em média cada aluno produziu cerca de 22.87 por texto e 4.57 linhas por questão, incluindo nessa contabilidade as questões não respondidas.

Usando o mesmo indicador quantitativo, a quantidade de linha por questão, temos a persistência da dificuldade dos participantes na produção textual e na elaboração de respostas capazes de abarcar a totalidade do que fora solicitado nas perguntas. Assim podemos perceber que a maior dificuldade foi na segunda questão onde a média de linhas por resposta cai 2.91 ao passo que a maior facilidade se deu na terceira questão onde o indicador adquire valor 8.69.

Assim como no Texto 01, a tabela abaixo possui tanto informações qualitativas acerca das categorias observadas em cada questão do Texto 02, as falas mais representativas e que mantém algum diálogo com o objetivo pretendido no questionamento bem como o percentual de acerto e o valor quantitativo de cada acerto.

De acordo com a tabela abaixo, ponderados os pesos atribuídos a cada resposta, o menor êxito ocorreu na elucidação da quarta questão (que contém dois itens diferente a serem respondidos) devido à grande fuga das respostas em relação ao solicitado, seguido da terceira questão, que exige um grande poder de síntese, depois a segunda questão, a quinta e por último a primeira questão, que retoma aos problemas contidos na quinta questão do Texto 01. Diante dos dados podemos inferir que embora na terceira questão temos o indicador 8.69 da relação linhas por questão, na primeira questão temos uma maior qualidade das respostas produzidas, indicando que o diálogo entre primeira questão do Texto 02 e a última questão do Texto 01 permitiu uma maior facilidade de assimilação do tema solicitado.

Merece destaque o fato de que alguns alunos não obtiveram sucesso na resolução da quinta questão do Texto 01 ao passo que conseguiram solucionar o problema proposto pela questão 02 de Texto 02, ou situação inversa, o aluno consegue responder de modo eficaz a questão do Texto 01 mas não consegue êxito no Texto 02, o que pode ser um indicativo da ausência da percepção sistêmica do aluno no que diz respeito às propostas da estratégia didática aqui discutida.

**Tabela 8** - Quantitativo e percentual das repostas corretas dadas a cada questão do Texto 02

<b>Q</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HABILIDADES ESPERADAS</b>	<b>QTD</b>	<b>%</b>
1	Captar o movimento das ideias sobre eletricidade no século XVII, saindo da catalogação e descrição para a explicação.	Percepção de que as ideias possuem historicidade, elas nascem, permanecem ou podem ser modificadas segundo as necessidades do contexto sócio histórico	21.75	67.96
2	Apresentar a mediação como elemento catalisador dos saltos qualitativamente superiores nas estruturas psíquicas dos sujeitos que interagem com elementos materiais (instrumentos).	Compreender o conhecimento científico como empreendimento humano possibilitado e limitado pela materialidade de contexto socio histórico da elaboração desse conhecimento.	18.25	57.03
3	Apresentar a infância do método experimental moderno no contexto da eletricidade a partir da confecção de instrumentos voltados exclusivamente para o estudo dos fenômenos elétricos.	Percepção da base material da ontologia da Física bem como dos procedimentos experimentais elaborados para refutar ou conformar uma dada proposição que se pretende como conhecimento.	18.25	7.03
4	Evidenciar como alterações no psiquismo são projetadas no mundo material nos melhoramentos técnicos efetuados nos dispositivos relativamente simples desenvolvidos para o estudo da eletricidade.	Percepção da correlação entre a consolidação das teorias físicas com o universo material com o qual essa teoria dialoga.	6.46	1.45
5	Confrontar os fatores espaciais e temporais com os elementos presentes na teoria moderna da eletricidade para identificar possíveis diálogos entre uma e outra dimensão da mesma realidade.	Percepção de que um dado contexto sócio histórico e as elaborações intelectuais, materiais e culturais formam uma totalidade indissociável.	19.0	59.38

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 13** – Respostas representativas das questões do Texto 2

Q	FALA REPRESENTATIVA
1.	Os conhecimentos sobre eletricidade e sobre magnetismo eram mais descritivos que explicativos. Descreviam e poucas vezes arriscavam uma explicação de alguns fenômenos e quando o faziam mesclavam elementos da racionalidade mecânica newtoniana ladeada com elementos da racionalidade característica da antiguidade ou do período medieval. (Aluno Marimar) [Resposta correta]
2.	A humanidade conseguiu elaborar instrumentos voltados exclusivamente para o estudo dos fenômenos de atração de corpos atritados, como por exemplo, o perpendículo, o versório e a máquina elétrica. (Aluno Centro Operário)
3.	O perpendículo é um artefato simples, composto de uma linha vertical presa na extremidade superior de um suporte fixo e tendo em sua extremidade inferior um corpo qualquer (passível de interações de atração ou repulsão). é parecido com um fio de prumo ou um pêndulo elétrico. O versório consiste na ideia de um instrumento girante, é um instrumento mais complexo. Consiste de duas partes articuladas: um suporte fixo vertical no qual uma haste horizontal é sustentada, de modo que seja capaz de girar livremente em relação ao eixo vertical. O sistema de funcionamento do versório é similar a uma bússola magnética. máquina elétrica era constituída de uma bola de enxofre moldada em um globo de vidro, suspensa e fixada em lixo que passava por seu centro. A bola de enxofre entrava em rotação quando uma manivela colocada numa extremidade do eixo era girada. (aluno boa vista)
4.	a) Antes os corpos eram atritados exclusivamente pela força muscular humana, de modo que o sujeito esfregava um corpo em outro até estes corpos apresentarem propriedades atrativas. Hoje aceitamos que o corpo humano é um ótimo condutor de eletricidade e que a terra pode receber cargas oriundas do corpo humano. (Aluno Marimar) b) Com a máquina elétrica modificada, o globo poderia atingir uma expressiva velocidade de rotação de modo a produzir intensos movimentos de atração bem como outros efeitos antes não observados como estalidos, faíscas e odor característico. Além disso produzia também uma sensação de formigamento em partes do corpo de pessoas que se aproximavam dela. Foi possível produzir atrações mais intensas que antes, de modo a produzir algumas faíscas elétricas seguidas de estalos, o que possivelmente associar os fenômenos elétricos aos fenômenos atmosféricos do relâmpago e do trovão quando das tempestades. Era preciso documentar e explicar todos esses fenômenos exaurir as possibilidades de experimentações, recriar experimentos capazes de dar conta apenas um desses efeitos. (Aluno Novo Tempo)

- |    |  |
|----|--|
| 5. | No século XVIII, os aperfeiçoamentos técnicos operados na máquina elétrica e o aparecimento de fenômenos antes não observados, aliados as alterações sociais vivenciadas tanto no continente europeu quanto nas terras colonizadas como no continente americano, no interior da África e nas terras do Pacífico proporcionaram novas experiências intelectuais sensitivas e emocionais que respingam sobre a constituição da teoria ora em tela. sem contar as transformações sociais fomentadas pelo desenvolvimento do capitalismo e do modo de produção industrial; também as transformações políticas provocadas pela consolidação dos estados Nacionais e pelas revoluções francesa e industrial.<br>(Aluno Parque União) |
|----|--|

Fonte: O autor (2020)



### 5.3.3 O texto 03: Da máquina elétrica à Garrafa de Leyden

Ao contrário dos dois textos iniciais, o Texto 3 apresenta uma maior densidade textual e uma discussão mais aprofundada, de modo a apresentar uma dificuldade na sua elucidação, o que fica explícito imediatamente no número total de abstenções (31) e de respostas erradas com enunciados incorretos (100) e no número dos indicadores linhas por texto e linhas por resposta. De acordo com a tabela 10, há uma certa uniformidade no número de abstenções sempre maior nas últimas questões do Texto 01 ao Texto 03:

**Tabela 9** - Características quantitativas das repostas dadas às questões do texto 3

Atividade	TEXTO 3									
Questão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Total de Questões	32	32	32	32	32	32	32	32	32	<b>288</b>
Respondida	30	30	30	30	30	30	29	30	18	<b>257</b>
Em branco	2	2	2	2	2	2	3	2	14	<b>31</b>
Linhas	65	238	100	93	72	92	104	114	52	<b>1094</b>
Palavras	741	2983	1055	990	779	1126	1289	1316	541	<b>10820</b>

Fonte: O autor (2020)

De acordo com as informações acima, cada questão deixou de ser respondida somente por dois participantes, exceto a sétima questão, com três abstenções, e a nona questão, que, novamente, devido à sua exigência de elaboração de síntese, deixou de ser respondida por quase metade dos participantes, 14 alunos. Na elaboração das respostas, os dados produzidos apresentaram uma grande quantidade de informações, manifestadas em um total de 1094 linhas digitalizadas, o que implica que em média cada aluno produziu cerca de 34.19 por texto e 3.80 linhas por questão, incluindo nessa contabilidade as questões não respondidas.

Partindo desses indicadores quantitativos podemos concluir que se antes já havia uma dificuldade dos participantes em relação à produção textual e à elaboração de respostas capazes de abarcar a totalidade do que fora solicitado nas perguntas, agora essa dificuldade se mostrou de forma mais latente, onde os indicadores apresentaram valores menores que os indicadores obtidos em relação aos dois primeiros textos. Podemos perceber que a maior dificuldade foi na nona questão onde a média de linhas por resposta

cai 1.84 ao passo que a maior facilidade se deu na terceira questão onde o indicador adquire valor 7.44, também um valor menor que os valores dos indicadores dos dois primeiros textos.

Assim como nos dois primeiros textos, a tabela abaixo possui tanto informações qualitativas acerca das categorias observadas em cada questão do Texto 03, as falas mais representativas e que mantêm algum diálogo com o objetivo pretendido no questionamento bem como o percentual de acerto e o valor quantitativo de cada acerto.

De acordo com a tabela abaixo, ponderados os pesos atribuídos a cada resposta, o menor êxito ocorreu na elucidação da sétima, seguido da sexta, quinta e terceira questões, respectivamente; devido ao fato que tais questões apresentaram grandes fugas nas respostas em relação ao solicitado e por suas exigências no que diz respeito a elaborações de sínteses, pois tais perguntas exigem dos pesquisadores uma ação de elucidação do texto de modo sistêmico, indo além do dado imediato ou da transcrição literal de elementos textuais. No segundo grupo de respostas se enquadram a primeira, a nona e a quinta questões, apresentando rendimentos entre 20% e 30%, sendo que a resposta de mais sucesso foi oitava questão, tratando da garrafa de Leyden, possivelmente tal sucesso tenha ocorrido pelo fato de um grupo ser o responsável pela apresentação de uma experiência sobre tal garrafa.

É importante destacar a singularidade das respostas dadas às questões do Texto 3, vez que elas apresentam uma distribuição de rendimento mais uniforme, merecendo ênfase o fato de tanto a primeira como a última questão, que funcionam como elos entre os textos anterior e posterior, apresentarem rendimentos relativamente mais baixos e menores que os rendimentos identificados nos textos anteriores

**Tabela 10 -** Quantitativo e percentual das repostas corretas dadas a cada questão do Texto 03

<b>Q</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HABILIDADES ESPERADAS</b>	<b>QTD</b>	<b>%</b>
1	Discutir o processo de aceleração do devir no continente europeu e o processo de aceleração da pesquisa em eletricidade perpetradas por diversas transformações econômicas, sociais, culturais e políticas.	Percepção de que um dado contexto sócio histórico e as elaborações intelectuais, materiais e culturais formam uma totalidade indissociável.	6.50	20.31
2	Evidenciar como alterações no psiquismo são projetadas no mundo material nos melhoramentos técnicos efetuados nos dispositivos relativamente simples desenvolvidos para o estudo da eletricidade.	Percepção da correlação entre a consolidação das teorias físicas com o universo material com o qual essa teoria dialoga.	10.35	32.34
3	Compreender como as especificidades espaciais, temporais e elementos subjetivos patrocinam a produção de conhecimento científico.	Percepção de que o estereótipo do gênio solitário e iluminado é uma construção histórica que cumpre funções sociais específicas.	5.75	17.96
4	Compreender que diversas narrativas acerca do passado da teoria da eletricidade deliberadamente se esforçam para silenciar acerca de fatos, pessoas e fracassos que não servem para defender um modelo idealizado de ciência moderna	Percepção de que no decorrer do desenvolvimento da teoria da eletricidade as relações sociais e políticas sobrepesaram sobre os desdobramentos da teoria colocando em evidência um pesquisador em detrimento de outros pesquisadores.	9.50	29.68
5	Evidenciar que as relações de produção capitalistas bem como as relações sociais no estado democrático de direito norteiam a produção intelectual de uma dada nação segundo os modelos de ciência defendidos pelo capital e pela classe política	Percepção de que o conhecimento não é neutro, sempre tem matizes econômicos e políticos dos grupos sociais que o elabora.	5.50	17.17

6	Apresentar aos alunos a complexidade da dinâmica da produção do conhecimento científico e da consolidação das teorias físicas onde a observação, a descrição e a atividade experimental não são suficientes para validar um conhecimento em Física os critérios exigidos pela comunidade científica da época para validar ou não uma teoria.	Percepção da existência do fenômeno de repulsão embora observado, descrito e obtido experimentalmente não era interpretado como sendo de natureza elétrica, tendo diversas outras interpretações.	12.50	9.06
7	Reconhecer o papel da criatividade e da interpretação na elaboração de modelos teóricos explicativos em Física, de modo que a ciência só tem seu sentido no universo humano.	Percepção de que as leis e teorias físicas, embora pretendendo dar conta de fenômenos fora da escala humana, só fazem sentido para o humano compreendido no contexto de suas relações sociais e produtivas.	1.25	5.15
8	Evidenciar como alterações no psiquismo são projetadas no mundo material nos melhoramentos técnicos efetuados nos dispositivos relativamente simples desenvolvidos para o estudo da eletricidade.	Percepção da correlação entre a consolidação das teorias físicas com o universo material com o qual essa teoria dialoga.	12.50	39.06
9	Discutir o processo de aceleração do devir no continente europeu e o processo de aceleração da pesquisa em eletricidade perpetradas por diversas transformações econômicas, sociais, culturais e políticas.	Percepção de que um dado contexto sócio histórico e as elaborações intelectuais, materiais e culturais formam uma totalidade indissociável.	8.0	25

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 14** – Respostas representativas das questões do Texto 3

Q	FALA REPRESENTATIVA
1.	O século XVIII foi sim o século da eletricidade, tanto na evolução da máquina elétrica que se torna um disco rotativo de vidro que é atritado a um isolante adequado como na invenção de outros instrumentos como o condensador que era uma máquina armazenadora de cargas, ou o para raio por Benjamin Franklin entre outros mais obteve-se tais afirmações por que o séc. XVIII foi o século em que se teve mais experimentos nessa área e com a produção de instrumentos que ajudaram na evolução do conhecimento elétrico. (Aluno Novo Tempo)

2.	<p>a) Em outros experimentos, usaram cabelo, resina e vidro como suportes para o barbante. Com essa modificação técnica, a intensidade da eletricidade transmitida foi maior, de modo que foi possível transmitir a eletricidade por uma distância maior. (Aluno Vila João Reis) [Resposta Errada. Fuga de tema. Enunciado correto em outro contexto] [Enunciado trata dos experimentos de tentativa de condução de eletricidade por longas distancias levadas a cabo por Gray. Enunciado correto, mas que não dá conta de solucionar o problema solicitado no quesito]</p> <p>b) o modo como os corpos eram eletrizados, por atrito com o emprego da força muscular humana, gerando efeitos de baixa intensidade humana, o não conhecimento das propriedades elétricas de alguns materiais inicialmente consideradas como não elétricas, e, devido a isso, ausência de efeitos da eletricidade no corpo humano (Aluno Coheb).</p>
3.	<p>Gray é um personagem que embora tenha um papel de suma relevância por seus por seus trabalhos, não possui tanta visibilidade histórica. Diversos elementos podem senão justificar, pelo menos lançar luz sobre algumas possibilidades de repostas. A primeira delas é que Gray muito tardiamente foi inserido no contexto das pesquisas em filosofia natural e em filosofia experimental; nessa inserção pertenceu a um grupo de pesquisadores que não tinham muito representatividade política na sociedade inglesa de ciências, de modo que muitos se seus trabalhos eram reinventados ou mesmo copiados. Em paris Du Fay, membro da academia francesa de ciências, a partir da década de trinta do séc XVIII, relata diversos trabalhos em eletricidade. ele elabora diversos experimentais acerca da produção de luz e som por eletricidade, seus efeitos fisiológicos no corpo humano, transmissões de eletricidade através de diversos corpos humanos. Hauksbee é outro personagem importante, ele proporcionou a difusão das ideias contidas nos trabalhos de Gray e Du Fay e de outros pesquisadores de seu tempo. (Aluno Novo Tempo)</p>
4.	<p>Hauksbee estudou diversos fenômenos que só séc. XVIII foram associados a eletricidade, como a condução de eletricidade a distâncias consideráveis, a interação entre dois corpos parcialmente eletrizados em humanos, o aprimoramento técnico da máquina elétrica de fricção. Como Hauksbee tinha uma proximidade com Newton e por isso uma facilidade de trânsito no meio intelectual inglês do início do séc. XVIII, possivelmente, no âmbito teórico, a associação da eletricidade com as ideias da mecânica dos fluidos já se insinuava em alguns experimentos e em algumas propostas de modelos explicativos.</p>
5.	<p>A aceleração dos estudos em eletricidade é acompanhada pela aceleração no próprio devir, políticas, econômicas e culturais que grassam o continente, modificando a cosmovisão tradicional vinculada ao universo medieval em detrimento dos elementos constituintes da modernidade. Mas o que singulariza essa aceleração dos estudos em eletricidade é a capacidade dos estudos em eletricidade é a capacidade humana de produzir instrumentos e interagir com eles de modo o modificar a si mesmo de tal modo a produzir uma aceleração no próprio processo de produção de artefatos. Então, sim! (Aluno Novo Tempo)</p>

6.	<p>Inicialmente nem mesmo o próprio Du Fay considerava a repulsão como sendo um fenômeno real. Foi depois de muito tempo maturando a ideia e se convencendo dela que propôs o seu modelo explicativo. Além do tempo de maturação da ideia, as diversas tentativas Du Fay de elaborar atividades experimentais, com vários materiais e instrumentos distintos, tiveram um papel relevante no fenômeno de natureza elétrica. (Aluno Marimar)</p> <p>[Aluno responsabiliza somente Du Fay pela interpretação da repulsão elétrica, não ponderando os conhecimentos abordados ao longo dos quatro textos. Resposta muito boa]</p>
7.	<p>Algo inquietou Du Fay (e alguns outros estudiosos na época). a interação entre dois corpos eletrizados gerava dois efeitos contrários, um deles, já conhecido era o movimento atrativo, o outro, novidade, era o movimento repulsivo. Ou seja, tanto um corpo eletrizado com a eletricidade resinsa quanto um corpo eletrizado com a eletricidade vítrea poderiam atrair um corpo neutro, de modo que não existia uma forma de detigular por seus efeitos diante dessa inconsistência apresentadas no modelo teórico de Du Fay frente aos conhecimentos obtidos pela experiência, propôs duas modificações em seu modelo teórico. A primeira delas foi a proposição de que corpos não eletrizados podem ser atraídos por corpos que passaram por processo de eletrização independente da natureza da eletricidade, isto é, seja ele vítrea ou resinosa. A segunda modificação foi a proposição de que eletricidades de mesma natureza produziam repulsão e de naturezas contrários atração. Assim, corpos que apresentavam a mesma eletricidade se repeliam e com eletricidades diferentes se atraíam.(Aluno Novo Tempo)</p>
	<p>A garrafa era montada em uma máquina elétrica com um material elétrico comunicava-se o interior da garrafa com material girante. Um aperfeiçoamento técnico foi proposto pelos ingleses que era revestir o exterior da garrafa com folha de chumbo ou folha evitando o contato direto do ser humano com o vidro. Desse modo, foi evitado o efeito fisiológico desagradável (choque) e também foi aumentado o poder de armazenamento de garrafa. (Aluno Joaquim Pedreira)</p>

No séc. XVIII, o século da eletricidade com o trabalho coletivo de diversos pesquisadores em diferentes regiões da Europa, o conhecimento acerca da eletricidade vai se alargando, possibilitando pesquisas nas mais diferentes vertentes por exemplo: produção de luz raios, e som, a alteração no estado fisiológico normal de um ser vivo, a alteração na qualidade do ar na vizinhança de uma máquina elétrica em operação entre outros. (Aluno Novo Tempo)

Fonte: O autor (2020)

### 5.3.4 O texto 04: Da Garrafa de Leyden à pilha voltaica: uma teoria constituída sem uma fundamentação em princípios gerais

O último texto apresenta a maior densidade informativa e maior profundidade de problematização, respingado de modo direito na sua elucidação a partir dos questionamentos propostos, o que fica explícito imediatamente no maior número de abstenções verificadas em todos os textos, dando um total de 116 abstenções, 36.25% do total de respostas esperadas, seguido de 77 totalmente erradas com enunciados incorretos em outros contextos, totalizando (37.93 %) das questões respondidas. Diante do exposto, objetivamos também os menores indicadores numéricos relativos às linhas por texto e linhas por resposta, segundo a tabela abaixo:

**Tabela 11** - Características quantitativas das repostas dadas às questões do Texto 4

Atividade	TEXTO 4										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Quantidade de questões	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	320
Respondida	26	27	27	27	27	25	24	11	1	9	204
Em branco	6	5	5	5	5	7	8	21	31	23	116
Linhas	131	70	164	109	86	101	63	28	3	21	776
Palavras	1503	848	1561	1297	1049	1242	694	331	39	291	8855

Fonte: O autor (2020)

De acordo com as informações acima, quatro questões deixaram de ser respondidas por cinco participantes, a primeira não foi respondida por seis participantes, a sexta, por oito, e as três últimas por vinte e um, trinta e uma e vinte e três participantes, respectivamente. Na elaboração das respostas, os dados produzidos apresentaram uma grande quantidade de informações, manifestadas em um total de 776 linhas digitalizadas, 29% a menos que a produção do texto anterior, sendo que o Texto 4 apresentou a maior quantidade de questões. Esses dados refletem que ao se complexificar os textos e os questionamentos os rendimentos dos alunos vão gradativamente diminuindo, de modo que tivemos cada aluno produziu em média 24.25 linhas por texto e 2.42 linhas por resposta, incluindo nessa contabilidade as questões não respondidas.



Partindo desses indicadores quantitativos podemos concluir que se antes já havia uma dificuldade dos participantes em relação à produção textual e à elaboração de respostas capazes de abarcar a totalidade do que fora solicitado nas perguntas, agora essa dificuldade se mostrou de forma mais latente, onde os indicadores apresentaram valores menores que os indicadores obtidos em relação todos os textos. Podemos perceber que a maior dificuldade foi na nona questão onde a média de linhas por resposta cai 0.09 ao passo que a maior facilidade se deu na terceira questão onde o indicador adquire valor 5.12, também um valor menor que os valores dos indicadores dos outros textos.

Assim esses indicadores são os menores obtidos ao longo da estratégia didática e não podem ser explicados somente pela complexidade do texto. Como a estratégia didática foi implementada em uma turma da terceira série do ensino médio, no quarto bimestre, logo após a realização do Enem, muitos participantes da pesquisa, ao longo do ano letivo focaram esforços mais nos estudos voltados para a aprovação no Enem do que para a aprovação no ano letivo, sendo que depois da realização desse exame, os alunos se ocuparam com diversas atividades avaliativas de outras disciplinas com o intuito de evitar uma recuperação ou uma prova final, quando não amenizar a situação caso esses dois casos se concretizassem.

Vale frisar que o elevado número de abstenções de respostas reflete a irregularidade da frequência escolar, sendo que não foi dada aos alunos ausentes a possibilidade de realizar as atividades em outro momento, sendo que o aluno ausente não teve a atividade computada na sua média final.

Tomando os dois elementos acima, ponderados na análise das especificidades dos resultados relativos ao Texto 04, inferimos que não foram só os elementos internos à estratégia didática que patrocinaram tais resultados, mas todo o ambiente de fechamento de ano letivo, com a respectiva pressão e exaustão dos alunos para realizar diversas atividades avaliativas ao mesmo tempo, sendo que as discussões e atividades relacionadas ao texto 04 ocorreram na semana das quartas avaliações bimestrais.

Como foi feito para todos os textos anteriores, a tabela abaixo possui tanto informações qualitativas acerca das categorias observadas em cada questão do Texto 04, as falas mais representativas e que mantém algum diálogo com o objetivo pretendido no questionamento bem como o percentual de acerto e o valor quantitativo de cada acerto

**Tabela 12-** Quantitativo e percentual das repostas corretas dadas a cada questão do Texto 04

<b>Q</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HABILIDADES ESPERADAS</b>	<b>QTD</b>	<b>%</b>
1	Discutir a teoria vigente acerca dos processos de eletrização por atrito, por contato e por indução.	Reconhecer as especificidades dos processos de eletrização: formas de produção, condições de ocorrências e explicações da dinâmica de produção desses processos.	13.50	42.19
2	Evidenciar como alterações no psiquismo são projetadas no mundo material nos melhoramentos técnicos efetuados nos dispositivos relativamente simples desenvolvidos para o estudo da eletricidade.	Percepção da correlação entre a consolidação das teorias físicas com o universo material com o qual essa teoria dialoga.	7.25	22.66
3	Compreender que a matematização de uma teoria não é a totalidade da teoria, sendo apenas uma parte constituinte desta. De modo que só tardiamente as teorias físicas nos moldes da ciência moderna foram matematizadas.	Percepção da possibilidade de conhecer os fundamentos de uma teoria física de modo qualitativo sem, contudo, recorrer diretamente e de início à matematização do modelo.	8.91	27.84
4	Compreender que a matematização de uma teoria não é a totalidade da teoria, sendo apenas uma parte constituinte desta. De modo que só tardiamente as teorias físicas nos moldes da ciência moderna foram matematizadas.	Percepção da possibilidade de conhecer os fundamentos de uma teoria física de modo qualitativo sem, contudo, recorrer diretamente e de início à matematização do modelo.	15.92	49.75
5	Verificar que na falta de modelos mentais a partir dos quais seja possível pensar um objeto a ser apreendido e suas relações com objetos já conhecidos, na constituição de uma teoria física, realiza-se operações mentais de aproximações sucessivas a partir do background à disposição e que constitui outras teorias já consolidadas	Percepção de que a teoria da eletricidade foi constituída a partir da analogia com diversos modelos oriundos da Mecânica Clássica, como a Dinâmica dos Fluidos e a Gravitação Universal, incorporando e ressignificando modelos matemáticos.	19.84	62.0

6	Apresentar o papel da interpretação e das elaborações analógicas relacionadas às interações produzidas sem contato superficial no contexto do Modelo da Gravitação Universal e a proposição do Modelo da Eletricidade conseguido pela analogia elétrica-mecânica.	Percepção, no contexto das leis do inverso do quadrado da distância, das semelhanças de significantes e as diferenças de significados entre os modelos matemáticos da Lei da Gravitação Universal e a Lei da Força Eletrostática.	2.72	8.5
7	Evidenciar alguns elementos da dinâmica do estabelecimento das verdades científicas a partir da rede complexa dos elementos compostos pela criação de ideias, busca de correlações dessas ideias com o mundo material e fenomênico, elaboração de atividades experimentais e interpretação dessas atividades; sendo que essa rede ainda interage com o contexto sócio histórico no qual é produzida.	Percepção das disputas entre o modelo do fluido único proposto pelos ingleses e o modelo dos dois fluidos proposto pelos franceses, sendo que ambos apresentavam algumas dificuldades práticas e teóricas ao passo que também forneciam explicações plausíveis para uma vasta gama de fenômenos	5.25	16.40
8	Evidenciar a persistência, de longa duração, de problemas não elucidados pelo conhecimento científico e a concentração de esforços de diversas gerações na busca do desencantamento de fenômenos físicos como os raios, relâmpagos e trovoes	Percepção da recenticidade da elaboração conceitual de modelo teórico explicativo capaz de dar conta dos raios, relâmpagos e trovoes a partir da teoria da eletricidade e como essa explicação enfraquece o caráter mágico, mitológico e religioso desses fenômenos.	2.97	9.3
9	Evidenciar alguns elementos da dinâmica do estabelecimento das verdades científicas a partir da rede complexa dos elementos compostos pela criação de ideias, busca de correlações dessas ideias com o mundo material e fenomênico, elaboração de atividades experimentais e interpretação dessas atividades; sendo que essa rede ainda interage com o contexto sócio histórico no qual é produzida.	Percepção das disputas entre os modelos teóricos da eletricidade como tendo origem animal e da eletricidade como podendo ser produzida pela matéria inanimada, sendo que esses dois modelos apresentavam diversas dificuldades práticas e teóricas ao passo que também forneciam explicações plausíveis para uma vasta gama de fenômenos antes não explicados pela teoria.	0.5	1.56

10	Evidenciar alguns elementos da dinâmica do estabelecimento das verdades científicas a partir da rede complexa dos elementos compostos pela criação de ideias, busca de correlações dessas ideias com o mundo material e fenomênico, elaboração de atividades experimentais e interpretação dessas atividades; sendo que essa rede ainda interage com o contexto sócio histórico no qual é produzida.	Percepção de que os modelos teóricos podem ser elaborados partindo das lacunas presentes nas teorias em direção à realidade fenomênica material, sendo que a admissibilidade da ocorrência de certos fenômenos resolve diversos problemas do modelo teórico, tal como ocorreu com a proposição da ideia de elétron como um corpo massivo com propriedades elétricas.	1.0	3.12
----	--	--	-----	------

Fonte: O autor (2020)

**Quadro 15** – Respostas representativas das questões do Texto 04

Q	<b>FALA REPRESENTATIVA</b>
1.	<p>Eletrização por atrito – ocorre quando atritamos dois corpos de substâncias diferentes (ou não), inicialmente neutros, e haverá transferência de elétrons de um corpo para o outro, de tal forma que um corpo fique eletrizado positivamente (cedeu elétrons), e o outro corpo fique eletrizado negativamente (ganhou elétrons).</p> <p>II eletrização por contato – Ocorre quando dois condutores um eletrizado e o outro neutro por exemplo forem colocados em contato físico entre si; através do contato os “elétrons livres” se encarregam de conduzir e redistribuir as cargas nos dois condutores.</p> <p>III eletrização por indução – consiste em atribuir carga elétrica a um objeto utilizado outro corpo carregado sem que haja contato entre eles. Ou seja, atribuir carga elétrica utilizando outro corpo eletrizado sem que haja contato. (Aluno Centro Operário)</p> <p>[Falta explicar como os fenômenos ocorrem no plano microscópico]</p>
2.	<p>No séc. XVIII, mesmo incorporando diversos saberes, explicando uma diversificada gama de fenômenos; quase não tinha explicação prática e nem princípios gerais nos quais poderia se fundamentar. Um importante passo nessa direção se deu com a incorporação dos fenômenos atmosféricos quando de tempestade à teoria da eletricidade.</p> <p>Também foi estudada a indução elétrica, uma alteração das propriedades de movimento de um corpo eletrizado sem, contudo, nele tocar. Diversos estudiosos já se debruçaram sobre o problema. Mas é com uma segunda ou terceira geração de eletricistas que o problema ganha modelos e quantificações de grandezas bem como a elaboração de diversos artefatos materiais que favoreceram o aprofundamento dos estudos. Esses elementos aproximaram os modelos explicativos da eletricidade com os modelos matematizados da mecânica clássica, tendo como o padrão a ser seguido como conhecimento moderno. (Aluno Novo Tempo) [Resposta correta]</p>

3.	<p>a) Alguns elementos aproximaram os modelos explicativos da eletricidade com os modelos matematizados da mecânica clássica, tida como o padrão a ser seguido como conhecimento moderno. (Aluno Vila João Reis)</p> <p>b) A matematização se inicia com a quantificação da intensidade dos fenômenos atrativos e repulsivos. (Aluno Novo Tempo)</p> <p>c) a relação entre a distância dos corpos em interação e a intensidade desta. (Aluno Novo Tempo)</p> <p>d) Eletroscópio e a balança elétrica. (Aluno Joaquim Pedreira)</p>
4.	<p>Eletroscópio indicava apenas se um corpo estava eletrizado ou não. Eletroscópio indicava se estava eletrizado e informações quantificadas associadas aos fenômenos elétricos. (Aluno Joaquim Pedreira)</p>
5.	<p>Na constituição de nova teoria física, historicamente por falta de modelos mentais a partir dos quais seja possível pensar o objetivo a ser aprendido e suas relações com os outros objetivos já conhecidos, é frequentemente lançar-se mão do pensamento analógico, isto é operações mentais de aproximações. (Aluno Novo Tempo)</p>
6.	<p>Na matematização elétrica a gravidade a eletricidade e o magnetismo balança elétrica de torção: a) a suspensa na vertical fixa sua extremidade superior e com uma haste horizontal na sua extremidade inferior b) haste com duas esferas metálicas em suas extremidades c) garrafas de vidro para evitar as perfurações devido aos movimentos de massas de ar e demais efeitos da atmosfera [Resposta incorreta, falta coerência e coesão. Copiou de alguém mas não prestou atenção nas palavras] (Aluno Mateuzinho)</p>
7.	<p>Franklin propôs que a eletricidade sempre repele a si mesma, ao passo que atrai a matéria que a retém; de modo que, um corpo com excesso de eletricidade repele um corpo com excesso de eletricidade e atrai um corpo com deficiência de eletricidade. Assim, um corpo seria eletrizado de uma forma pelo excesso de fluido e de outra pela ausência desse fluido. Franklin foi o primeiro a supor que a eletricidade total seria conservada, tendo como desdobramento a ideia posterior que a carga elétrica não poderia ser criada ou destruída.</p> <p>Para dar corpo à sua da eletricidade como único tipo de fluido, Franklin propôs um conjunto de diversas experiências, sendo que em uma delas duas pessoas se posicionavam em plataformas isoladas. Atrita-se o pano no vidro de modo que estes se eletrizam, uma pessoa toca no pano enquanto a outra toca no vidro.</p> <p>Quando essas duas pessoas aproximaram suas mãos, uma faísca forte passou entre a distância entre os dedos das duas pessoas e ambas são completamente carregadas, mostrando que as eletricidades neutralizam. Outra demonstração do mesmo efeito, foi feita pendurando uma bola de cortiça entre dois corpos metálicos de pequenas dimensões conectados aos revestimentos interno e externo de uma garrafa de Leyden. A bola vibrou entre os dois corpos metálicos até a garrafa de Leyden se descarregar, de modo que os revestimentos da garrafa ficaram neutros. (Aluno Novo Tempo)</p>
8.	<p>Franklin montou uma experiência e depois uma haste metálica isolada na parte superior de imóvel conectada a um dispositivo no qual havia dois sinos com um chocalho levemente suspensa e isolado entre eles. [Resposta parcialmente correta, vez que trata o problema de forma simplista indicando que apenas uma atividade experimental fora a responsável pela incorporação desses fenômenos à teoria da eletricidade]. (Aluno Marimar)</p>

9.	A eletricidade, o galvanismo, o magnetismo, o que era entendido como teoria eletrostática, já o galvanismo tinha uma hídrica relação entre o que e conhecimento atualmente como químico e como eletrodinâmica e o magnetismo era um corpos de saber. [Resposta incorreta. Fuga do tema, enunciado correto em outro contexto]
10.	A ideia da medição da carga de um elétron, a gota de óleo ainda era incerta [Resposta incorreta. Fuga de tema. Enunciado correto em outro contexto]. (Aluna Vila Monteiro)

De acordo com a tabela acima, ponderados os pesos atribuídos a cada resposta, o menor êxito ocorreu na elucidação da nona questão, onde foi requisitado a elaboração de um quadro comparativo, seguido da décima questão onde foi tratado do espinhoso caso do elétron como partícula material com propriedades físicas, depois incluímos nesse primeiro grupo de questões de baixo rendimento a sexta e a oitava questão; sendo que em todas essas questões os participantes da pesquisa eram solicitados a transcender o texto, elaborando quadros explicativos ou sínteses de elementos não dados de modo direto no texto. Já no segundo grupo de questões estão incluídas as demais questões, onde o rendimento variou em um intervalo entre 16% e 50%.

O maior rendimento ocorreu na quinta questão onde houve uma transcrição literal de um fragmento do texto que faz referência ao modo como os físicos fazem uso do recurso da analogia como uma forma de produção de conhecimento novo a partir dos conhecimentos disponíveis e já consolidados.

Como fizemos a divisão da turma em 04 grupos que se mantiveram ao longo de todas as atividades da estratégia didática, desde as discussões em sala de aula, passando pelas refeições tanto dos resumos quanto das questões que acompanham os textos, até as elaborações das atividades experimentais; foi observado cinco grupos principais de respostas dadas às questões relativas aos textos históricos, fato não esperado quando do início das análises.

Uma possível explicação para a emergência dessa característica das respostas indica que possivelmente diversos alunos não responderam as questões como tarefa para casa, e fizeram o caminho inverso do caminho proposto na estratégia didática, partindo da resposta elaborada coletivamente em direção à resposta individual, sendo que diversos formulários de resposta além de apresentarem respostas idênticas também apresentaram problemas com diversos elementos de coesão e coerência textuais e alguns deles até palavras e termos totalmente fora dos contextos possibilitados quando da efetivação da estratégia didática.

Em relação à essa segunda característica há um indicativo de que essas respostas foram transcritas de modo acrítico evidenciando o caráter coercitivo e institucional das atividades propostas, vez que as atividades pretenderam compor a nota do quarto bimestre. Nesse aspecto, mesmo o aluno, assinando o termo de livre participação na pesquisa, não conseguiu encontrar elementos capazes de o motivar a desempenhar com propriedade o trabalho de leitura e resolução das atividades propostas. Nesse ponto

também ponderamos o fato de a estratégia didática ter sido implementada no final de ano letivo, onde supostamente os alunos estão empenhados com diversas atividades avaliativas com o intuito de evitar uma reprovação, uma recuperação ou uma prova final.

Em relação às respostas eficazes ou parcialmente corretas, observa-se que algumas dessas respostas consistem em transcrições literais de fragmentos dos textos onde supostamente as respostas corretas estariam contidas, sendo que muitos alunos encontraram mais dificuldades naquelas questões que exigiam uma capacidade crítica sintética ou compreensão sistêmica, isto é em questões que demandaram operações mentais mais complexas, como elaborações de quadros, estabelecimento de relações de causa e efeito, ou de leituras e apreensões de implícitos.

Também foi observado que os melhores rendimentos dos alunos se concentraram nas atividades referentes aos textos 2 e 3, sendo ambos de média complexidade, com baixa densidade de informação. O primeiro texto para ser melhor elucidado exige um diálogo com a filosofia no que diz respeito ao seu fundamento, as especulações acerca da constituição e da natureza do saber entre o mito e a religião, em uma perspectiva da longa duração, o que possivelmente demandou muito esforço do aluno em interagir com tal abordagem.

Já o segundo texto, mais próximo do desenvolvimento potencial dos alunos, pela relativa exaustão da interação com a temática central da estratégia didática e pela abordagem de temas mais correlacionados diretamente com temas em Física, demonstrou ser mais palatável. Nos textos 03 e 04, gradativamente foram incorporados mais elementos de modo a enriquecer a discussão, problematizando diversos conceitos de Física, sem, contudo, desconsiderar dos elementos de história e filosofia ponderados como pressupostos iniciais do trabalho.

Como uma forma de criar elos entre os quatro textos da estratégia didática sempre as últimas questões propostas de um texto dialogam com as primeiras questões do texto seguinte, de modo a criar uma totalidade indissociável. Uma contradição evidenciada nas respostas diz respeito ao fato de que diversos alunos tiveram êxito na resolução de uma questão e na questão elaborada de outro modo, mas que gravita em torno do mesmo campo semântico o mesmo aluno não obteve o mesmo sucesso.

Essa contradição pode ser um indicativo do modo compartimentado e fragmentado de como o saber é apresentado para os alunos na educação básica de modo a dificultar o movimento de síntese, sendo que ao se modificar o modo como uma



pergunta é feita, uma resposta que antes se demonstrou como eficaz não consegue ser reelaborada de modo a da conta do que foi solicitado.

#### **5.4 As atividades experimentais**

Um clímax da estratégia didática ocorre quando os participantes são provocados a apresentar e discutir as atividades experimentais que foram distribuídas início da estratégia didática. Como fora dito anteriormente, a turma fora distribuída em cinco grupos, cada um deles responsável pela montagem, apresentação e discussão de uma atividade experimental utilizando um elemento material criado historicamente com a única finalidade de se estudar a teoria da eletricidade. Assim cada grupo ficou responsável por apresentar um dos dispositivos como o perpendicular, o versório, a garrafa de Leyden, a pilha voltaica e a máquina elétrica. Sendo estabelecido apenas a data da apresentação, a natureza do experimento e a elaboração de um roteiro de apresentação, deixando livre todas as outras etapas da atividade.

Embora não seja objeto principal de discussão do presente trabalho, por ser uma atividade muito presente quando das elaborações das sínteses integradoras e por ser um momento possível de captar de modo mais direto os indícios dos processos de apreensão e de internalização dos conceitos, da compreensão da validade do experimento frente a construção histórica da teoria; vamos tecer algumas ponderações acerca desse importante momento da estratégia didática.

O primeiro grupo teve a incumbência de fabricar o perpendicular, o que seria um bastão isolante no qual se coloca em uma de suas extremidades um fio sensível aos processos de eletrização. No entanto, o grupo pesquisou em um canal do Youtube e ressignificou o procedimento experimental fazendo uso de uma lata metálica de refrigerante de 350 ml vazias e dois balões plásticos. Dividiu a atividade experimental em quatro passos, sendo que no relatório apresentado quando da explicação, relatou que o experimento não deu certo, pois os balões quando eletrizados espocavam. Porém, quando da apresentação da experiência em sala de aula, o experimento funcionou, de modo que foi possível até propor um jogo de cabo de guerra elétrico onde dois jogadores, cada um com um balão a ser eletrizado por atrito com os cabelos dos jogadores fizeram a lata se movimentar de um lado para o outro, ganhando o jogador que provocasse maior descolamento da lata em menor intervalo de tempo.

O segundo grupo ficou responsável por apresentar o versório, que é um instrumento composto de uma haste isolante posta na vertical onde na sua extremidade

superior é colocado um corpo sensível a corpos eletrizados e capaz de entrar em movimento circular. Vale destacar que na noite anterior à apresentação da atividade os membros do grupo entraram em contato com o professor informando que não iriam apresentar a atividade por que não conseguiram montar o experimento, entretanto na manhã do dia seguinte o grupo apareceu com um aparato bem rudimentar, visivelmente improvisado que consistia de uma base de isopor velho, um galho de árvore ainda verde fincado nessa base, funcionando como haste vertical, e um canudo plástico (semelhante aos usados em lanchonetes) em formato de “V” invertido, com inflexão em seu ponto médio, e posto sobre o galho. Quando da apresentação da atividade o versório se mostrou altamente sensível, o que causou deslumbramento em todos os presentes na sala de aula. O grupo demonstrou propriedade na problematização do experimento a partir da oralidade, o que não ficou refletido no roteiro escrito apresentado ao professor.

O terceiro grupo ficou responsável pela atividade experimental mais complexa que foi a máquina elétrica, de modo que não houve envolvimento o problema e o grupo não apresentou a atividade. Como paliativo, a máquina elétrica do laboratório da Unidade Escolar Edgar Tito, do município de Teresina, foi cedida para efetivação da interação social dos sujeitos participantes com o importante elemento material que enriqueceu a teoria da eletricidade. Com a máquina elétrica foi possível realizar um conjunto de atividades experimentais, sendo que o que mais chamou a atenção dos alunos foi o arco elétrico e o ruído produzido, o que de certo modo aproximou os fenômenos elétricos produzidos quando da operação da máquina elétrica dos fenômenos atmosféricos do raio, relâmpago e trovão.

O quarto grupo foi o único que demonstrou dificuldade em relação ao experimento, que foi a reconstituição da garrafa de Leyden, sendo que para tal, usaram um pote de maionese vazio, fechado com folhas metálicas afixadas ao longo de toda a superfície lateral tanto interna quanto externa, sendo que foi feito um orifício no centro da tampa, através do qual uma haste metálica comunicava o interior da garrafa com o seu exterior. Na parte superior dessa haste foi montada uma esfera confeccionada em papel alumínio amassado. Na apresentação da atividade, a partir da garrafa de Leyden montada pelos alunos foi possível eletrizar diversos corpos por contato e produzir choques elétricos de intensidade considerável. O único problema enfrentado pelo grupo foi a não apresentação do roteiro dos procedimentos adotados e os passos da atividade experimental.

O último grupo a apresentar, foi o responsável pela construção da pilha voltaica, o que foi feito, porém, nessa atividade surgiu algumas peculiaridades. A primeira delas é que o experimento montado e apresentado foi visto pela primeira vez, por todos os presentes, inclusive o professor, somente quando da estratégia didática. A segunda é que, todos os membros do grupo demonstraram apropriação em relação aos conteúdos imprescindíveis a serem ponderados tanto em relação à montagem da atividade quanto em relação à explicação do experimento. A última peculiaridade é que quando o grupo foi apresentar a atividade, simplesmente o experimento não funcionou, o que causou bastante frustração entre os membros do grupo. O experimento foi montado com um empilhamento de moedas de valores diferentes (o que de fato é necessário, vez que para que haja diferença de potencial no interior da pilha é necessário sejam empilhados dois metais diferentes), embebido em vinagre e vedado com fita adesiva e com dois fios metálicos comunicando o interior da pilha com o seu exterior. A finalidade básica do experimento era pôr em funcionamento um LED oriundo do controle remoto de uma televisão, o que não foi possível quando da apresentação. Entretanto o grupo garantiu com espanto, que em dias anteriores à apresentação o dispositivo funcionara bem.

Para o não funcionamento da atividade foi aventadas duas possíveis explicações. A primeira dela se pautou na possibilidade de o ácido oriundo do vinagre perder força de modo a anular a ddp no interior da pilha. A segunda se pautou na possibilidade de naturalmente a pilha se descarregar devido o contato de seus terminais internos com o ar, de modo que as cargas foram gradativamente lançadas no ar.

Em todas as atividades foi comum os alunos vibrarem com as apresentações, aplaudirem cada sucesso, muita conversa paralela, muitas brincadeiras, alunos caminhando pela sala. Em resumo, o espaço da sala de aula ganhou moldes não tradicionais, de modo que as partilhas de saberes foram mais horizontais que verticais. Também essa atividade explicitou o difícil universo da prática experimental em ciências, o poder criativo dos alunos, o engajamento desses como sujeitos do conhecimento, dentre outros elementos que merecem estudos posteriores, vez que não é o centro do presente trabalho.

### **5.5 As sínteses integradoras e as autoavaliações**

Como principal atividade avaliativa da estratégia didática, a síntese integradora e a autoavaliação foram produções textuais abertas, tendo como mote os temas problematizados ao longo do último bimestre, com o intuito de evidenciar em que medida

os alunos conseguiram fazer uma elaboração própria dos temas estudados e se eles conseguiram relacionar essas elaborações com outros temas abordados em outras disciplinas ou a elementos de seu cotidiano, tanto no contexto escolar quanto em ambientes fora da escola, refletindo acerca de sua participação no conjunto das atividades desenvolvidas ao longo do seu processo sobre suas expectativas, suas dificuldades, suas aprendizagens, seus interesses e suas projeções de si no futuro.

O que marcou essas produções textuais, foi a alta carga de subjetividade, o que não poderia ser diferente, vez que o objetivo é ter acesso aos fragmentos dos significados e dos sentidos<sup>52</sup> elaborados pelos alunos quando finalizado o percurso formativo proposto pela estratégia didática.

Dos 32 participantes, somente quatro não produziram as sínteses e a autoavaliação, pois estavam ausentes quando da proposição da atividade. Todos os textos produzidos contabilizam um total de 675 linhas, de modo que a média de linhas por texto é de 24.11. Também foram contabilizadas 8.737 palavras em todas as produções textuais, incluindo nessa contagem os elementos de ligação, o que totaliza cerca de 273 palavras por texto e 11.52 palavras por cada linha de cada texto. Todos esses dados quantitativos são indicadores do alto grau de engajamento dos participantes quando da produção textual, produzindo pistas acerca de como experienciaram a formação proposta pela estratégia didática.

Partindo da apreciação crítica do documentário feita por alguns alunos<sup>53</sup>, foi possível produzir as seguintes ponderações:

Aluno Joaquim Pedreira

Na expectativa, sugere que possui abertura à proposta e dá indícios de uma crença numa aprendizagem quantitativa, isto é, capaz de identificar o quanto aprendera depois

---

<sup>52</sup> [...] o sentido de uma palavra é a soma de todos os fatos psicológicos que ela desperta em nossa consciência. Assim, o sentido é sempre uma formação dinâmica, fluida, complexa, que tem várias zonas de estabilidade variada. O significado é apenas uma dessas zonas do sentido que a palavra adquire no contexto de algum discurso e, ademais, uma zona mais estável, uniforme e exata. Como se sabe, em contextos diferentes a palavra muda facilmente de sentido. O significado, ao contrário, é um ponto imóvel e imutável que permanece estável em todas as mudanças de sentido da palavra em diferentes contextos. [...] O sentido real de uma palavra é inconstante. Em uma operação ela aparece com um sentido, em outra, adquire outro. (VIGOTSKY, 2000, p. 465)

<sup>53</sup> Os textos dos alunos aos quais nos referimos constam nos anexos, vez que os reproduzir integralmente ao longo do texto ocuparia um espaço muito grande. Assim transcrevemos aqui apenas trechos representativos e que servirão de guia para as ponderações.

do engajamento nas atividades da estratégia didática. Entretanto a aprendizagem não é instantânea, pode demorar para se acomodar às outras memórias, de modo que dificilmente o ser tem consciência de como aprende e por que aprende.

Relata que as atividades propostas foram dentro de suas expectativas, o que sugere que não houve quaisquer novidades tanto na rotina do cotidiano da sala de aula como nas demais tarefas. Uma possibilidade de leitura para essa realidade pode ser o fato de que ao longo do ano letivo, diversos elementos tanto da história como da filosofia da Física terem sido problematizados a partir de diversos temas principalmente no penúltimo bimestre onde foram trabalhados os assuntos da Teoria da Relatividade Restrita e da Introdução ao Estudo da Mecânica Quântica. Porém na análise das atividades proposta em sala foi observado que o aluno não realizara algumas atividades como a apreciação crítica do documentário nem a atividade livre inicial, apontando uma contradição entre a fala do participante da pesquisa e a sua ação.

Em relação ao professor, também demonstra um comportamento contraditório vez que no início do ano concebia o professor como alguém que propunha desafios que inevitavelmente provoca novas formas de pensar o que antes era pensado de modo desenvolver o senso crítico acerca da realidade. Só que com o passar dos períodos letivos e das pressões sociais devido ao Enem e a uma série de demandas dentro e fora da escola, a necessidade de dar conta dessas demandas desmotivou o aluno de modo a ele não ver sentido nas aulas. Fato rompido quando da proposição da estratégia didática quando, logo depois da prova do Enem e do sentimento de alívio, o aluno se envolveu nas atividades propostas.

Aluno percebe um viés estético da proposta ao afirmar que gostou de saber como a eletricidade surgiu, como ela foi elaborada como teoria. “Desde que comecei a aprender sobre eletricidade me agradei muito e vi como ela é massa”. Aqui é interessante que não trata do fenômeno em si, mas do complexo modelo teórico explicativo que foi elaborado para dar conta dos fenômenos elétricos. Os sentimentos positivos que ele consegue identificar quando da síntese integradora foi em relação aos processos de eletrização e como a eletricidade se comporta.

Outro ponto que merece destaque é que cerca de 75% dos temas abordados ao longo do ano letivo foi sobre eletricidade e magnetismo, mas o aluno afirma que só começou a aprender sobre a eletricidade quando das atividades propostas na estratégia didática (uma grande contradição), o que o agradou de modo a se encantar com o saber.

Aprendi que a eletricidade é muito mais do que os olhos podem ver ou as pessoas podem explicar. Cara saber como ela surgiu e como os caras descobriram mudou muito sobre minha forma de pensar e de compreender as coisas. Percebi que aprender como as coisas surgem pode ser muito legal e servir de um gigante aprendizado. (Síntese integradora do Aluno Joaquim Pedreira)

Em relação ao papel da História no Ensino de Física o aluno é categórico ao afirmar que “Aprender como as coisas surgem é tão importante quanto aprender para que elas servem.” Frase curta, certa e direta que põe em suspenso o modo como historicamente as práticas curriculares oficiais estão sendo geridas, basta ver o histórico dos livros indicados no PNLDEM, onde os assuntos são expostos a partir da Filosofia Operacionalista, com alguns resquícios de idealismo platônico, o que Zanetic denominava, já na década de oitenta do século passado, formulismo. Essa percepção da importância de se ter consciência tanto da origem como do uso das teorias foi gestada tanto como um sentido da experiência de desenvolvimento das atividades propostas quanto das aprendizagens que essas atividades lhe proporcionaram.

Como expectativa de futuro aluno pretende se formar diversos cursos superiores que ele goste. Física não entrou no rol das possibilidades, formar uma família e ter um bom emprego. Interessante destacar que o aluno tem como modelo de felicidade o ideal socialmente valorizado de pessoa bem-sucedida que transita entre o espaço privado da família e o espaço público do emprego.

No aspecto familiar se preocupa em ser um bom marido. Interessante destacar que a síntese e a auto avaliação pretendia dar conta das transformações no ser mediada pelas possibilidades de leituras da realidade a partir dos saberes contidos na estratégia didática proposta, mas o aluno reitera em dois momentos distintos o desejo de uma família idealizada onde não falhe como marido.

Como mensagem deixa o conselho de uma positividade na autoestima relacionada a superação das dificuldades, não especifica se nas atividades escolares ou nas lides diárias, vez que o difícil é aparente e se há uma dúvida em relação à própria capacidade de superação essa dúvida precisa ser dirimida. Ora em Ensino de Física é muito comum os alunos não se proporem sequer a se envolver com as atividades propostas pelo professor por acreditarem que não serão capazes de terem êxito na empreitada. Essa falta de confiança e apatia pode ser compreendida como um grande engessamento do trabalho pedagógico no Ensino de Física.

Por fim, encerra o texto demonstrando um sentimento de gratidão e com um certo saudosismo em relação à escola e ao professor, vez que é o fim do ciclo da educação básica, onde o futuro urgente é desconhecido, repleto de expectativas e incertezas quanto ao ingresso no mercado de trabalho e/ou a continuidade dos estudos. Além disso ainda se prontifica a ajudar o professor no futuro.

Aluna Vila Angélica

Reconhece que aprendeu muito ao longo do ano letivo, mas não consegue citar o que de fato aprendeu. Cita que aprendeu sobre eletricidade: raios, relâmpagos, trovões e sobre a máquina elétrica, além da experimentação. Cita que se impressionou com a eletrização por atrito onde dois corpos que antes não manifestavam eletricidade, depois de atritados ficam eletrizados.

Como projeção para o futuro, pensa em fazer o que gosta [aluna artista plástica, que não pinta porque não tem condições financeiras de comprar as tintas e os pinceis], aprender mais. Fato marcante é dizer que espera ter uma casa e uma família, pois a aluna mora na casa dos tios, onde segundo ela, não é incentivada a se superar, antes o contrário, é muito solicitada a fazer as coisas dentro de casa. Ideia de estudo como Formação Cultural (bildung) constituída no projeto moderno do esclarecimento e por isso, intrinsecamente carrega consigo um projeto de Formação Cultural.

Aluno Boa Vista

Trata da eletricidade a partir da longa duração numa postura idealista de desvelamento da natureza [persistência de estruturas mentais de longa duração, mesmo após o engajamento nas atividades propostas], também faz uma conexão do que foi estudado com o seu presente atentando para a dependência do mundo contemporâneo em relação à energia potencial elétrica. Entende que raio, relâmpago e trovão são três eventos distintos de um mesmo fenômeno.

Compreendeu a importância da máquina elétrica para a constituição da teoria da eletricidade por produzir efeitos secundários e fenômenos de alta intensidade, mas não compreendeu a garrafa de Leyden [também não aproveitou as oportunidades para tirar dúvidas]

Como expectativa futura pensa em fazer um curso universitário e trabalhar.

Acredita que cumpriu bem o seu papel de aluno

Aluna São Marcos

A síntese da aluna tem uma característica emblemática, e por isso a reproduziremos integralmente:

Péssimas, eu não pretendia nem participar disso tudo, logo por que eu odeio física e o professor ainda complica tudo.

No início quando fizemos o trabalho achamos que ia dar tudo certo, porem no final tudo foi um LIXO.

As pessoas com quem fiz os trabalhos são super legais eu gosto deles, por que o resto da minha turma eu não suporto, graças a Deus que já chegou no final desse inferno. O professor Fernando é legalzinho não tenho nada contra ele explica bem porém fala muito. Eu não evolui em nada por que eu já odiava a matéria, agora meu ódio só aumenta, quando isso acontece eu não consigo aprender mais nada.

Eu acho que eletricidade foi o assunto que pelo menos deu para entender durante esse tempo todo. Todos os temas eu tive e sempre vou ter dificuldade, por que física não entra na minha cabeça. Optica e eletricidade são os mais interessantes, logo por que da pra entender alguma coisa né.

Minhas expectativas é nunca mais estuda química e física, por que parece que foi o capeta criou essas matérias. Eu pretendo iniciar um curso que gosto e estudar na universidade jovens aprendam física desde o início se duvidar na hora que nascer, por que oh materiazinha abençoada. (Síntese Integradora Aluna São Marcos)

Aluna demonstrou um complexo de sensações tensas e contraditórias na participação das atividades propostas, deixou de fazer algumas atividades e **fez** algumas de modo incompleto, sendo que o seu maior sentimento de frustração foi devido ao não funcionamento de sua pilha voltaica quando de sua atividade experimental.

Aluna diz odiar Física. O ódio que bloqueia fazer algo [como odiar aquilo que não se conhece?]. Acredita que física não entra na sua cabeça [crença na inaptidão inata] e sente que o professor faz de tudo para complicar uma disciplina que já é complicada [não se permitiu a experienciar as atividades]. No extremo da contradição afirma que o professor é legal, ao passo que fala demais, afirma não ter nada contra o professor [relação de distanciamento e indiferença, ou expressão com o intuito de ocultar um sentimento negativo]

Aluna ficou no grupo responsável pela apresentação da pilha elétrica, fez a atividade em casa, mas na hora de apresentar não obteve êxito pois a pilha descarregou,



mas não aventou quaisquer explicações para o não funcionamento do experimento. Sensação de frustração, vez que acredita que não evoluiu nada ao longo do ano letivo e da atividade formativa proposta. Porém, de modo contraditório afirma que conseguiu aprender algumas coisas em eletricidade e ótica, mas que física não entra em sua cabeça

Em relação ao convívio com a turma a aluna diz não suportar a turma, exceto seus amigos. Sobre a expectativa de futuro é nunca mais estudar física e química, estudar só o que gosta na universidade. Recomenda que o aprendizado de Física comece desde a primeira infância.

#### Aluno Roncador

Cita que ao longo do ano letivo houve um grande volume de conteúdo e que conseguiu aprender cerca de 80% deles. Afirmação contraditória vez que na resolução dos problemas das atividades propostas embora é flagrante o seu engajamento, fica evidenciado na análise de suas repostas, que há um indicativo de que suas questões são transcrições de outros textos sem o cuidado de atentar para a ortografia de algumas palavras bem como para os elementos de coerência e coesão do texto. Assim em diversos fragmentos de suas respostas há enunciados sem encadeamentos lógicos e sem legibilidade.

Além disso o texto do aluno, principalmente no que diz respeito ao Questionário inicial não demonstra os conhecimentos acerca de diferença de potencial elétrico, de corrente elétrica e nem de conservação de energia. Uma flagrante contradição com sua primeira afirmação na síntese integradora.

Além dessa flagrante contradição, a síntese integradora ainda aponta outra contradição. Na construção de seu texto, o aluno evidencia em relação à afirmação do aluno acerca de sua aprendizagem: há uma total ausência de conhecimentos que foram abordados ao longo do ano, ausência de elementos de história e filosofia da Física e de eventos singulares do contexto da História dos Processos de Eletrização. Antes o aluno foca sua atenção na descrição e na explicação das atividades experimentais que foram apresentadas em momento próximo da solicitação da elaboração da síntese integradora conforme podemos ver em um trecho de sua síntese

Melhor assunto [...] foi a experiencia, pude ter visto pela primeira vez uma máquina elétrica de perto, com uns simples materiais você consegui fazer uma experiencia. Como o versório se faz com dois canudos plásticos um palito de madeira e um pedaço de papel higiênico,

passando o canudo no papel higiênico, podendo encostar no outro canudo mas sem tocá-lo eles se atraíram, mais também teve muito trabalho, que a pessoa pensa em desistir muitas e muitas vezes, mas que serviu de conhecimento, com eles aprimorei muitos conceito de eletricidade e dos efeitos e dos efeitos e dos fenômenos naturais. Queria ter aprendido tudo mais com passar dos tempos posso conseguir, mas esse ano vi coisas que nem imaginaria que existia e como são feitas. Obrigado professor pelo ensino que nos foi dado. (Síntese integradora do aluno Roncador)

Aluno demonstra apropriação dos saberes relativos às atividades experimentais realizadas em sala de aula, elencando detalhes macroscópicos do experimento, mas não aborda o modelo teórico explicativo que dá conta dos fenômenos produzidos. Mas outro detalhe importante a ser mencionado é a agudeza de sua percepção em relação à possibilidade de ressignificação de objetos ordinários do cotidiano para incorporá-los às práticas científicas relativamente sofisticadas.

Essa modificação do olhar para o objeto é um indicativo de uma apropriação de um saber de suma importância acerca do fazer científico em Física onde a mediação entre psiquismo e mundo natural pode ocorrer também a partir desses objetos materiais onde o ser com o uso dos instrumentos inquirir a natureza e obtém respostas específicas de acordo com a natureza da pergunta, do objeto material em questão e do uso desse objeto.

Por outro lado, o aluno reclama do excesso de atividades propostas o que alimenta o sentimento de impotência e vontade de desistir sem sequer tentar resolvê-las. Em outro momento do texto afirma que sabia que a atividade seria difícil, mas não tanto quanto. Foi; recomendando que quando alguém tem que fazer algo, nunca deixar para a última hora (recomendação a si mesmo?). Aqui há uma grande inflexão entre o feito e o idealizado como feitura, vez que em todas as atividades respondidas pelo aluno só há originalidade na sua síntese integradora, indicando que não houve um mergulho nem nas leituras e nem na tarefa de resolução dos problemas propostos.

O não envolvimento com o processo de ensino e aprendizagem se reflete numa síntese integradora relativamente pobre, sem destacar aspectos importantes que foram sugeridos tanto na autoavaliação como no texto auxiliar da elaboração da síntese.

Aluna Pedro Patrício

Deixa transparecer uma frustração na realização de sua experiência, por não ter dado certo na escola ao passo que em casa deu certo. Reconheceu o trabalho desenvolvido nas outras experiências como sendo momentos importantes para o aprendizado.

Quando comecei esse último Bimestre eu comecei a pensar que seria o último bimestre só que muito difícil ai quando o professor deu o questionário para respondermos comecei a estudar muito foi ai que comecei a entender como e o que era eletricidade mais não entendi completamente logo assim de cara no questionário. Já no primeiro texto eu comecei a entender o que era eletricidade, com o versório, a máquina elétrica, etc... meu grupo ficou com a pilha voltaica fizemos em casa deu certo, já quando fizemos na escola não funcionou, usamos as moedas, papel alumínio, vinagre, sal, papel higiênico, fio de cobre e o controle. Ex: juntamos o sal e o vinagre, pegamos as moedas de 1 por 1 colocamos a moeda, recortamos o papel alumínio e o papel recortamos o papel higiênico (papel toalha), molhamos o papel alumínio e o papel toalha e colocamos em cima das moedas tudo em ordem 1 moeda depois alumínio e depois o papel toalha e continuamos seguindo assim até quando já ficou um pouco auto as moedas, depois disso tudo pegamos o fio colocamos um no lado positivo (+) e o outro negativo (-) e conectamos no controle pois não deu certo não ascendeu, mais fizemos o máximo para que o nosso trabalho desse certo. (Síntese integradora do Aluno Pedro Patrício)

Relação positiva com os alunos e com o professor fundada do respeito e no distanciamento. Concentra sua autoavaliação somente nas atividades desenvolvidas ao longo do quarto bimestre. Diz ter gostado mais da máquina elétrica por entendeu mais [parece que “o gostar” está relacionado com o entender]. Aluna grávida, coloca como expectativa cuidar do filho e sonha com carreira policial [influência da escola militar?].

#### Aluno Centro Operário

Afirma que se propõe a participar das atividades, mas de modo extremamente desmotivado, até com sentimentos negativos por acredita na sua incapacidade para responder ao que fora solicitado. Mas ao abandonar uma postura passiva e se debruçar sobre o material da estratégia didática, conseguiu entender as perguntas, responde-las e até aprender algo sobre o conteúdo.

Demonstra percepção de alta sensibilidade ao identificar que o primeiro passo na atividade científica é compreender como os questionamentos são formulados. Mas o que é mais digno de nota é a separação entre responder os quesitos de modo correto e que isso não é um indicativo de que o ser foi capaz de apreender o objeto investigado. O que soa como um espanto fora da expectativa pois além de conseguir responder, segundo ele conseguiu aprender. Assim há uma enorme distância entre a resposta eficaz e a aprendizagem.

Cita a dificuldade de compreender ao longo do ano letivo a proposta de ensino e aprendizagem do professor, sendo que tardiamente conseguiu captar o que estava em jogo

em sala de aula (aproximadamente no início do segundo semestre), onde a turma conseguiu se integrar e trabalhar como uma equipe coesa. A abordagem da eletricidade sob o viés histórico e filosófico opera uma mudança na relação afetiva do aluno com a física, embora ainda afirme não gostar da disciplina.

Em relação aos dispositivos materiais elaborados com o intuito de se estudar a eletricidade o aluno cita sem muita propriedade a construção da pilha voltaica no porão da Sociedade Real Inglesa de Ciências, episódio visto no documentário exibido e que não está contido nos textos problematizados em sala de aula.

Em seguida passa a elencar como ocorreu uma mudança de percepção em relação a Física e discorre sobre a atividade experimental que fora capaz de elaborar com seu grupo

[...] Aprendi com isso, que a Física não se trata só de cálculos. E sim, faz parte da história da humanidade, de várias maneiras. Outro fator bastante importante, ao término dessas atividades, foi aprender a fazer um versório, e fazer com que houvesse atração e repulsão. O versório é construído a partir de coisas básicas, como meu grupo construiu. Com dois canudos, um pedaço de madeira e o isopor. (Síntese integradora do aluno Centro Operário)

A mudança de percepção do aluno em relação a Física aumenta o leque de possibilidades de compreensão do saber físico onde além da matematização, incorpora também elementos de história. Aqui há uma compreensão radical, onde o aluno percebe que a Física faz parte do próprio processo histórico de constituição da humanidade e que sem esse saber o contemporâneo não seria possível.

Em relação ao versório, aluno cita como operou com materiais do cotidiano, ressignificando-os, de modo a incorporá-los no seu fazer científico, e com ele produzir fenômenos de atração e de repulsão.

Em seguida aluno transcreve um trecho do texto de apoio para a elaboração da síntese integradora, afirmando que a teoria da eletricidade foi constituída a partir do projeto de formação iluminista. Finaliza adotando uma postura idealista ao tratar da descoberta do âmbar como objeto capaz de atrair os corpos quando atritados e que a partir dessa descoberta foi possível elaborar outros instrumentos mais complexos.

Ao tratar da descoberta do âmbar e de que ele fora ponto de apoio para o desenvolvimento de outros elementos materiais; o aluno adota uma postura conflitante entre o idealismo e o materialismo, vez que ao usar o termo descoberta para tratar do âmbar sugere que na natureza as coisas estão dadas no plano perfeita das ideias, bastando

ao sujeito a ação no sentido de desvelar a natureza. Por outro lado, ao indicar que os outros instrumentos foram elaborados a partir da materialidade do âmbar admite que no fazer científico é preciso uma base material a partir da qual os saberes podem ser elaborados.

#### Aluna Oitenta e Nove

Relata que compreendeu que a Física é algo muito além dos cálculos que foram apresentados a ela ao longo de sua educação básica, sendo que por trás das contas que se mostram há toda uma empreitada humana, uma longa história pautada na ação humana, longe da ideia de descoberta. Mas ao longo do texto a aluna cita que o âmbar foi crucial para as futuras descobertas, sendo que estas foram perpetradas a partir de materiais extremamente simples, conforme evidenciado em sua síntese;

[...] descobri que ninguém descobre algo, que foi só algo que sempre existiu e alguém chegou lá [...] Vi também [...] que a maioria das descobertas foram feitas de materiais simples, que seres humanos servem de fio terra, porque os passarinhos ficam nos fios e não levam choque. Que um balão pode atrair uma lata de alumínio (Síntese integradora Aluna Oitenta e Nove)

Manifesta uma contradição entre uma postura idealista da constituição do saber em Física e uma postura materialista, ora relatando que no fazer científico não existe descobertas ora relatando que as descobertas são devidas a bases materiais simples. Essa contradição pode ser uma manifestação da tensão produzida entre o modo como possivelmente a Física foi apresentada à aluna ao longo de sua vida escolar e o modo como a Física foi apresentada na estratégia didática.

Acrescenta que aprendeu que o nêutron, mesmo sem ter carga elétrica possui uma utilidade. Relata que compreendeu que os seres humanos são bons condutores de eletricidade, podendo servir como fio terra; também compreendeu o motivo de os passarinhos não serem eletrocutados quando pousam em fios de alta tensão. Do mesmo modo que para o nêutron, para os demais saberes elencados a aluna não entra em detalhes acerca do seu aprendizado apenas citando que aprendeu.

Em relação às atividades experimentais em grupo, afirma que foi bastante estressante trabalhar em grupo, embora tenha achado que as atividades foram relativamente fáceis, vez que havia criado uma expectativa negativa por acreditar que as tarefas seriam difíceis.

Manifesta também uma afetividade positiva em relação ao estudo dos processos de eletrização, simpatizando mais com o processo de eletrização por atrito por ter sido o assunto que mais compreendeu e por acreditar ser o saber que mais vai usar fora do ambiente escolar. Paradoxalmente relata que teve muitas dificuldades ao longo de todo o ano letivo, pois a Física não a ajuda em nada.

Reconhece que a sua maior dificuldade ao longo de todo o ano letivo foi a exigência de ter que colocar tudo no papel, vez que não tem a habilidade da expressão escrita; sendo que sua maior dificuldade mesmo foi nunca gostar de Física nem de interagir com as pessoas.

Como expectativa de futuro, gostaria de cursar jornalismo e seguir carreira de jornalista esportivo, especialista em futebol, onde acredita que para cobrir eventos futebolísticos precisaria de conhecimentos em Física.

Recomenda que não é preciso abrir mão de muita coisa para se conseguir o que se deseja, sendo preciso somente dedicação e um acompanhamento psicológico.

Aluna Padre Delfino

Inicia fazendo referência ao documentário exibido em sala de aula explicitando uma narrativa específica acerca da história da eletricidade, problematizando a garrafa de Leyden, a máquina elétrica e a pilha voltaica. Dentre todas as atividades desenvolvidas ao longo da estratégia didática, aponta a sua predileção pelo documentário por entender que ele forneceu uma visão mais completa.

Nesse aspecto identificamos duas contradições essenciais. A primeira delas é que mesmo afirmando que teve mais simpatia com a proposta de problematização dos processos de eletrização a partir de documentos audiovisuais mas a aluna não se propôs a realizar as tarefas de problematização solicitadas quando da exibição do documentário, o que pode ter sido ou uma recusa relativamente consciente devido ao grande número de itens solicitados, gerando uma ansiedade prévia que paralisa a ação – comportamento muito comum nos alunos quando são expostos a desafios que eles acreditam não terem condições de solucionarem – ; ou uma negação experiência por não perceber as ricas possibilidades de aprendizagem passíveis de serem integralizadas com a atividade não realizada.

A segunda contradição foi identificada na relação entre os objetivos das atividades relacionadas ao documentário e das atividades relacionadas aos textos escritos. Uma das

possibilidades seria comparar uma narrativa historiográfica elaborada por uma empresa britânica nos moldes de uma história da ciência da ciência tradicional de cunho positivista com a narrativa historiográfica presentes nos quatro textos abordados em sala de aula. A contradição se explicita quando a aluna mostra a sua predileção pelo documentário por acreditar que ele fornece uma visão mais completa ao passo que também admite que os textos apresentam abordagem mais aprofundada dos temas problematizados e por isso era mais trabalhoso que o filme.

Após a participação na estratégia didática, há um indicativo de mudança de perspectiva na forma de conceber a Física:

Em relação a matéria de física ainda nunca vi em sala de aula, algo parecido, sempre foi mais na teoria dos professores [...] A teoria do passado da eletricidade desnudamos e aprendemos várias coisas desse conhecimento principalmente eu que nem sabia que existia esses tipos de experiências relacionado a eletricidade e a física. [...] as minhas expectativas era de não conseguir participar dessa atividade, até por que nunca fiz algo parecido. (Síntese Integradora da Aluna Padre Delfino)

Com surpresa ao longo de toda a educação básica, a aluna não experienciou em Física nada parecido com a estratégia didática proposta, antes foi submetida a um currículo que na sua concepção foi uma escolha dos professores, sendo que estes escolheram as teorias deles de modo unilateral e sem o diálogo com os alunos. Na sua fala demonstra uma sobriedade histórica ao enfatizar que a problematização dos processos de eletrização pelo viés histórico não é o passado ontológico da teoria, mas sim também uma teoria de passado. E mesmo com essa teoria foi possível quebrar a áurea da Física, desnudando a teoria da eletricidade em seus termos constituintes mais simples e em mecanismos de produção de saber. Quando apresentamos todo e qualquer conhecimento acerca da natureza, principalmente em Física, enfatizando apenas o seu caráter instrumental, deslocado de suas origens e desdobramentos históricos, de modo implícito sugerimos que esses conhecimentos são a históricos, se não uma verdade absoluta, uma verdade constituída num passado remoto.

Ao desnudar a teoria, retira-se dela o véu que a esconde, revela-se o que estava oculto, diminui o peso da dificuldade, aproxima-a da dimensão do humano visto que a história é uma instituição que pertencem somente ao homem, devido a sua capacidade de criar símbolos e com eles interagir com o mundo e consigo mesmo.

Prosseguindo seu texto demonstrou deslumbramento frente ao instrumento material garrafa de Leyden por sua grande simplicidade e por sua capacidade de mudar

radicalmente o andamento das pesquisas em eletricidade devido a reorientação das práticas experimentais (basta lembrar que a indicação dos fenômenos do raio, relâmpago e trovão, tema que também agradou a aluna, como sendo de natureza elétrica ganha fundamentação material com os experimentos de Franklin de a partir das nuvens carregar uma garrafa de Leyden). Sem muita propriedade cita rapidamente os experimentos de Galvani acerca dos efeitos da corrente elétrica nos terminais nervosos de um sapo dissecado, como sendo algo que chamou a sua atenção devido a eletricidade animal.

Revela que não tinha expectativas positivas em relação ao andamento das atividades da estratégia didática pelo medo do desconhecido, por nunca ter feito algo parecido antes. Mas ficou entusiasmada quando foi provocada a elaborar um dos instrumentos estudados, de modo a produzir expectativas positivas mesmo ainda confusa e receosa quanto ao êxito ou fracasso de sua atividade experimental.

No início das atividades a aluna se sentiu confusa, devido à grande carga de desafios propostos e das profundas alterações nas rotinas de trabalho, mas com o desenrolar das atividades foi dando conta das atividades, interagindo com os colegas e mudando suas expectativas, culminando com a apresentação de sua atividade experimental.

Espera que abordagens semelhantes sejam uma realidade presente em sala de aula, vez que é uma proposta interessante.

Aluna Vila João Reis

Inicia questionando que elementos da unidade formativa levaria para a vida.

Como positivamente da unidade formativa elenca dois pontos. O primeiro deles foi a importância da problematização histórica dos saberes em Física onde fica evidenciada a possibilidade de transformar o mundo a partir das coisas que já existe. [Nesse ponto a linguagem está aberta, permitindo uma leitura polissêmica, vez que não estão bem delimitados os termos mundo (não há elementos no texto capazes de indicar se o termo faz referência à natureza ao microcosmo ou ao macrocosmo do ser) e coisas (não é possível inferir pelo contexto a referência do termo: pode ser a materialidade, as condições sociais disponíveis quando da ação ou ainda qualquer outro elemento).

O segundo foi a proposição de atividades experimentais de responsabilidade dos alunos acerca dos dispositivos materiais elaborados exclusivamente para o estudo dos fenômenos elétricos como o pêndulo, o versório, a garrafa de Leyden e a pilha



voltaica; onde foi possível superar algumas dificuldades como o medo e a ojeriza à disciplina. Com essa superação, melhorou o seu rendimento anual em Física.

Para a aluna, na educação básica a Física sempre foi apresentada como sendo cheia de cálculos e formulas [o formulismo apontado por Zanetic]. Assim, no início do ano letivo não tinha expectativas positivas em relação à disciplina, antes acreditava que “seria mais um ano chato, com vários cálculos e que no final do ano não teria aprendido nada”. Considerando que as atividades da unidade formativa foram propostas para a última série do Ensino Médio e diante do exposto acima, há um indicativo de que possivelmente a aluna tenha desenvolvido uma apatia e um distanciamento em relação à disciplina de Física diante do formulismo em demasia e da não proposição de atividades mobilizadoras por apresentar desafios nas vizinhanças da área de desenvolvimento proximal do aluno.

Diante das atividades propostas ao longo do ano letivo a aluna afirma que foi capaz de mudar o olhar em relação ao mundo que a cerca e em relação à Física.

A aluna demonstrou grande sensibilidade ao perceber que na construção dos textos foi evitada a postura idealista em detrimento da ideia de que as leis e teorias físicas não são desveladas, mas sim elaborações sócio-históricas pautadas na interação entre os seres e mediadas pelas mais diversas linguagens.

Em relação à unidade formativa fruto da presente pesquisa a aluna faz as seguintes afirmações

Dos assuntos que foram desenvolvidos nesse ano letivo o que mais me chamou atenção e que mais aprendi foi o último: sobre a teoria da eletricidade, porque eu não vivi só a teoria mas também a prática assim obtendo mas sobre o assunto [...] Outra coisa que chamou bastante atenção foi que com coisas simples do dia a dia podemos montar experimentos fantásticos como foi proposto na aula a máquina elétrica, versório entre outros [...] Enfim passar por essas experiências foi a melhor coisa, não tenho nada a reclamar, aprendi um pouco mais e também ficou algumas dúvidas, mas com o passar do tempo vai sendo esclarecido como o professor sempre dizia “se você não tem dúvida, você não está estudando física. (Síntese integradora aluna Vila João Reis)

Para a terceira série do Ensino Médio Regular o currículo da disciplina de Física é constituído basicamente pelos temas Eletromagnetismo, Introdução a Mecânica Quântica, Teoria da Relatividade e Física Nuclear. Assim o tema principal, que é Eletromagnetismo, consome mais de 60% da carga horária anual e de modo paradoxal a aluna afirma que gostou mais do último assunto do ano que foi sobre eletricidade. Tal afirmação causa espanto vez que insinua que a aluna não conseguiu estabelecer quaisquer

correlações entre os temas que foram abordados ao longo do ano letivo e os temas da unidade formativa.

Uma possibilidade de leitura dessa postura paradoxal pode ser dada pela chave fornecida pela própria aluna, onde cita que o seu aprendizado ocorreu devido a combinação de elementos teóricos com as atividades experimentais nas quais objetos ordinários, ao serem deslocados de seu ambiente, são ressignificados e de modo a serem concebidos como parte indissociável do fazer experimental. O jogo de ressignificação de materiais ordinários fortalece e amplia a abordagem da teoria da eletricidade pelo viés histórico pautado na materialidade e nos desdobramentos materiais que favoreceram a constituição da teoria.

Outro ponto a ser destacado é que a aluna mesmo ao fim do ano letivo ainda é capaz de ter questionamentos – embora não os tenha especificado – que ou não foram contemplados nas atividades ou foram produzidos a partir das atividades. Desse modo a atividade proposta conseguiu de um modo ou de outro impactar a aluna, a ponto desta lembrar de uma fala – espaço da oralidade – onde o professor afirma que se em uma aula não há nenhum questionamento, se não há quaisquer dúvidas é um forte indicativo de que não se está produzindo conhecimento.

Como explicar que a aluna esquece de mais de 60% do currículo trabalhado em sala de aula, currículo esse no qual fez cerca de cinco avaliações (3 mensais e duas bimestrais) e lembra de uma fala perdida, um comentário entre um e outro conceito problematizado?

#### Aluno Novo Tempo

Inicia sua síntese fazendo referência às observações de Tales de Mileto acerca do âmbar e de suas propriedades atrativas quando atritado. Ao tratar do âmbar adota uma postura idealista de desvelamento da natureza, onde o ser humano descobriu o âmbar.

Em seguida problematiza a distinção entre o conhecimento mítico e o conhecimento aristotélico acerca dos fenômenos de raio, relâmpago e trovão, manifestando uma dificuldade quanto a elaboração de uma explicação para o fenômeno do relâmpago. Depois aborda a importância da ação humana no fabrico de instrumentos a partir dos quais elaboraram conhecimentos mais complexos acerca da natureza da eletricidade, citando o versório, o perpendicular e a máquina elétrica, evidenciando que

possui um conhecimento elementar acerca do funcionamento de cada um desses dispositivos.

Mesmo sem clareza ou objetividade na escrita, indica que a partir da interação dos sujeitos com a máquina elétrica foram produzidos efeitos secundários até então desconhecidos como faíscas, estalidos e um odor característico. Em seguida cita a relevância do século XVIII, devido à aceleração das pesquisas em eletricidade, com o trabalho de diversos estudiosos, chamando a atenção para a controvérsia entre a ideia de Du Fay da eletricidade como sendo constituída por dois fluidos distintos e a ideia de Franklin da eletricidade sendo constituída por um único fluido.

É notório que o aluno tem uma compreensão acerca do que foi problematizado em sala, mas lhe falta as palavras e termos adequados para a expressão, vez que há uma distância entre o pensamento e a palavra escrita.

No que diz respeito a autoavaliação, aluno relata que não tinha muitas expectativas em relação às atividades propostas; mas sentiu dificuldades pois acreditava que as atividades solicitadas não apresentavam complexidade.

Relata que gostou de conhecer a história da eletricidade, pois a partir dela compreendeu um pouco como os materiais foram elaborados e isso estimulou a sua curiosidade.

Sentiu dificuldade no entendimento do funcionamento da máquina elétrica.

Finaliza o texto com a expectativa de continuar estudando para se formar e exercer o seu papel de cidadão.

Recomenda a necessidade de se estudar para não passar por constrangimento de si mesmo.

Aluna Formosa

Produz um texto pequeno, mas extremamente carregado de significados e sentidos, conforme exposto abaixo:

[...] através dos meses que tivemos reunidos [...] podemos entender, mais a respeito da física [...] a eletricidade começou ainda 1900, onde descobriram formas da natureza. Aprender realmente o que estudamos durante anos, através de teorias e conhecer a verdadeira história da física podendo levar o conhecimento fora do recinto escolar pois tudo faz parte de nossas vidas diariamente [...] o conhecimento entrou no cérebro tanto com a pratica como também teórica [...]. O professor [...] esclareceu que nada foi exatamente encontrado tudo já

existia [...] o professor foi um pai [...] pois compreendeu [minhas] dificuldades.

Os temas abordados [...], mesmo com algumas atividades que atrapalharam a aula foram: eletrostática, condução e resistores [...] o que mais gostei foi eletrização por atrito (máquina elétrica, perpendicular entre outros). Nem todas minhas dificuldades foram [...] superadas [...] tenho este defeito desde pequena: aprendo totalmente o assunto, entendo, porem para transcrever no papel não consigo, ou seja, eu me dou bem em teste oral do que escrita. [...] aprendi que se você não conhecer a história de algo que você estuda durante anos, você não consegue aprender o necessário. Minhas expectativas de vida é não somente me formar ou ajudar os meus pais financeiramente, o mais importante é passar para outras pessoas aquilo que aprendi, ensinar o verdadeiro sentido. Pretendo continuar o desenvolver minha formação profissional e ao mesmo tempo uma cidadã de verdade. Jovens por favor busquem o conhecimento e a verdade perguntem, tive suas dúvidas. Pois se calar e se conformar só com o que houve, se torna incompetente. (Síntese integradora aluna Formosa)

Antes de nos determos ao texto, acrescentamos que a aluna desde sua infância sempre apresentou diversos problemas de saúde, de modo que a frequência escolar foi bastante irregular. Devido isso, deixou de fazer diversas atividades e também ao longo do ano letivo não teve como estar presente em momentos nos quais tivemos discussões importantes a respeito da Física.

A aluna inicia já com um trecho polissêmico ao afirmar que a teoria da eletricidade se inicia no ano de 1900. Com essa afirmação põe por terra todo o trabalho desenvolvido ao longo dos quatro textos e do documentário exibido, pois nesses documentos há uma abordagem caracterizada pela média e longa duração. Mas, de modo contraditório, ponderando os mesmos documentos, e principalmente o texto quatro, admitimos a possibilidade da leitura da aluna caso ela esteja fazendo referência aos fundamentos da teoria da eletricidade que só foram lançados quando do estabelecimento da ideia de elétron como partícula material portadora de carga elétrica.

Na mesma linha da afirmação polissêmica a aluna novamente põe por terra todo o esforço da elaboração presente nos quatro textos, vez que admite que o saber em física é descoberto, desvelado; adota assim, contra tudo o que foi estudado, uma concepção de natureza a partir do idealismo platônico. Além dessa postura ainda manifesta uma concepção de história como a reconstituição objetiva de um passado e não uma possibilidade de interpretação de fontes disponíveis segundo os questionamentos do presente de quem questiona.

Mesmo com essa concepção de história admite a importância de se abordar um dado conhecimento pelo viés histórico, pois a partir disso é possível estabelecer relações com o cotidiano dentro e fora da escola. Aprofundando a discussão acerca da história do saber, observa que se um ser domina um conhecimento, mas tem consciência da história desse conhecimento então esse domínio é estreito. Com essa afirmação a aluna demonstra uma grande sensibilidade em relação ao modo deficitário como a Física escolar na educação básica é apresentada aos alunos.

A aluna entende que interagir com os temas propostos, passando pela experiência da unidade formativa, foi capaz de aprender algo. Entretanto a construção de seu texto mais uma vez evidencia uma postura idealista platônica vez que afirma que o conhecimento estava pronto, dado fora dela e com a unidade formativa o conhecimento entrou no seu cérebro. Com essa afirmação também põe por terra os pressupostos da materialidade e da interação social como elementos patrocinadores da elaboração dos saberes pelos seres interagentes.

Em outro momento do texto a aluna ao tratar do papel desempenhado pelo professor, atribui a este uma fala com a afirmação: “na natureza nada foi encontrado tudo já existia”. Essa fala extremamente polissêmica carece tanto de sentido quanto de significado, vez que não há quaisquer indicativos contextuais de referências para os termos nada e tudo. Termos infinitamente polissêmicos! Além disso, a construção da frase por aproximação de termos antitéticos é maximizada pela extrapolação do paradoxo da negação do encontro de algo que já existia. Se algo já existia bastaria encontrá-lo desvelá-lo, se não existia então pela ação antrópica poderia ter sido criado.

Ao focar nos temas trabalhados durante o ano, afirma que diversas atividades atrapalharam a abordagem. Aqui abre para um conjunto de possibilidades de leituras: A primeira que podemos fazer é que um aluno da terceira série do Ensino Médio, além de ter que se ocupar com os estudos dos conteúdos normais do ano letivo, seja para fazer uma prova ou mesmo pela integralização do processo de ensino e aprendizagem, tem também que se ocupar com o estudo de assuntos ou que já fora estudado em momento pretérito ou mesmo que nunca foram estudados, o que torna muito difícil o cotidiano desse aluno. Outra possibilidade de leitura é que o aluno de terceira série do Ensino Médio do Colégio Militar Tiradentes V, além das demandas observadas na primeira leitura, devido ao regime de ordem e hierarquia, está finalizando uma história dentro da escola e precisa participar de todos os eventos oficiais da escola: desfiles, baile, formatura,

atividades de festas comemorativas; o que consome o escasso tempo de estudos. Fora essas leituras ainda há os processos de avaliações externas com olimpíadas ou o IDEB.

Na autoavaliação de seu desenvolvimento durante as atividades propostas reconhece que não superou todas as dificuldades que encontrou ao longo da resolução dos problemas propostos. Interessante observar que a aluna se coloca como o motivo da não superação, pois não possui a capacidade de projetar no papel o que está na sua mente, reconhecendo que lida melhor com a oralidade. Ora o problema da aluna talvez não seja exclusividade sua somente: há uma dificuldade generalizada na humanidade de expressão na linguagem escrita, vez que a escrita possui uma dinâmica, regras e exigências, distinta da dinâmica do pensamento e da fala. E não só isso, o pensamento e a fala também não são síncronos: tanto na fala quanto na escrita é necessária uma ordem cronológica de aparecimento e desenvolvimento de um dado raciocínio, já no pensamento há uma infinidade de possibilidades do instantâneo seco e objetivo a uma sequência de quadros mentais embebidos de sentidos.

Mesmo assim a aluna tem consciência do tipo de linguagem e forma de avaliação que a escola valoriza socialmente, mas caso a oralidade tivesse valor o rendimento dela seria outro. A aluna tem consciência que a limitação não está só nela, mas também no instrumento utilizado para medi-la.

Como expectativa de futuro, não encontra motivação para a sua ação somente na melhoria da qualidade material de sua vida e de seus pares, mas no compartilhamento de suas experiências, onde seja capaz de atingir um sentido imanente da realidade. Depois dessa elaboração, volta para a questão da formação ideal para o trabalho e para o exercício da cidadania como a finalidade do processo de educação e de escolarização. Nesse ponto há a explicitação de uma contradição entre o projeto de formação do cidadão eficaz tanto no exercício do trabalho quanto na manutenção da ideia democrática de cidadão e o ideal de compartilhamento de experiências capaz de resgatar um sentido que fora perdido ou escamoteado em um falso sentido.

Para complicar ainda mais, finaliza recomendando que os jovens busquem o conhecimento e a verdade, que estes desenvolvam a capacidade de questionar, de não se conformar com o que é dado como acontecimento. Para ela não desenvolver essas capacidades e não buscar o conhecimento e a verdade torna o jovem incompetente. No final do texto também há espaço para a contradição e para a polissemia, pois recomenda a busca pelo conhecimento e uma conformação à ideia de profissão e de cidadania. Extrapolando a polissemia, ainda diferencia conhecimento e verdade, onde sugere que há

diversos conhecimentos e que a verdade é restrita e de difícil acesso, sendo preciso uma atividade radical de afirmação do humano pela capacidade de questionar, de agir e de não conformação, com vistas a atingir a competência.

Conforme exposto, o caráter contraditório, polissêmico e paradoxal do texto pode não refletir o que de fato a aluna quis expressar, entre intenção e ato de escrita existe uma distância abissal, entre pensamento e escrita e há um infinito, entre o escrito e o lido há mais hiatos de modo que o que para nós pode soar como polissemia contraditória pode ser apenas uma infelicidade na escolha dos termos utilizados na expressão, mas também pode ser uma expressão da própria contradição nos pensamentos e nos sentimentos da aluna.

#### Aluna Joia

Inicia sua síntese elencando os assuntos que ela afirma ter aprendido, lembrando de trechos dos textos trabalhados, mas apresentando problemas de coerência e de coesão textual: cita o caráter descritivo dos saberes antigos acerca da eletricidade e do magnetismo, o modo como o perpendicular e a máquina elétrica são montados.

Em seguida constrói um texto que mesmo com alguns problemas de coerência e coesão, fornece indícios de diversos sentidos e significados elaborados pela aluna acerca da Física e do seu histórico escolar na Educação Básica;

[...] evolui ao longo dos assuntos, e as dúvidas aumentaram. A eletricidade. por aprender que mais simples que é lindo [...], o tema que tive mais de dificuldades foi magnetismo por não querer entender o que se passar naquele assunto, algumas dificuldades foram sim superadas ao longo desse ano, mais dúvidas do que dificuldade [...], minha expectativa do futuro é ter uma coisa melhor, para mim melhorar em tudo, quero fazer faculdade e essa altura do campeonato não sei o que aproveite muito o aprendizado. (Síntese integradora da aluna Joia)

É importante destacar que segundo a aluna à medida que foi realizando as atividades propostas foi superando algumas dificuldades ao passo que simultaneamente foi adquirindo novas dúvidas, e isso produzia uma sensação de deslumbramento. Relata que o tema que mais teve dificuldade foi o magnetismo e indica que essa dificuldade pode ter sido artificialmente por ela mesma, que não se propôs a experienciar o que estava sendo proposto em sala de aula.

Finaliza o seu texto demonstrando que tem interesse em ingressar na faculdade e questionando o que a educação básica lhe proporcionou como aprendizado, indicando a sua dificuldade de elencar o que conseguira aprender ao longo desse percurso.

Aluno Mangueira

Inicia sua síntese tratando da longa duração da existência dos fenômenos elétricos e do movimento de constituição da teoria da eletricidade, remetendo ao caráter mitológico das interpretações dadas aos fenômenos atmosféricos de raio, relâmpago e trovão, atentando para a grande complexidade dos elementos simbólicos dos mitos.

Ao tratar da mudança de orientação do conhecimento mítico em direção ao conhecimento científico o aluno adota uma concepção teleológica da história, ao afirmar que os sujeitos do passado não imaginariam como os conhecimentos em eletricidade iriam mudar no futuro. Relata a importância das atividades experimentais de Benjamin Franklin, no século XVIII, para a interpretação dos fenômenos do raio, relâmpago e trovão como manifestações da eletricidade atmosférica

Aponta que a máquina elétrica produziu uma inflexão radical na forma de se interpretar os fenômenos do raio, relâmpago e o trovão e para o estudo de fenômenos antes não observados como as faíscas e a repulsão elétrica. De modo fragmentado, cita o eletroscópio de folhas de ouro de Bennet, como sendo instrumento importante para o estudo dos fenômenos elétricos.

Depois disso, aponta a importância dos trabalhos de Galvani para a compreensão das propriedades de condução elétrica dos corpos dos seres humanos, citando as atividades experimentais da eletricidade animal que faziam uso de sapos dissecados. Em seguida cita que houve um problema da interpretação da eletricidade como sendo constituída como dois fluidos e depois como um único fluido, querela essa que só foi atenuada com a proposição da interpretação corpuscular da eletricidade, onde esta, seria devido a uma partícula material portadora de carga elétrica, chamado de elétron, proposta somente no ano de 1891.

Finaliza o seu texto dando um parecer em relação ao documentário exibido no início das atividades propostas. Para o aluno, o documentário apresentou uma concepção de ciência eurocêntrica, apresentando uma tensão entre o ato criativo europeu e a ação europeia de desenvolvimento do pensamento grego.

Aluna Marimar



Relata a dificuldade de se trabalhar com textos em Física visto que tanto na primeira quanto na segunda série do Ensino Médio a abordagem da Física foi feita somente a partir dos cálculos. Mas na terceira série foi apresentada a Física a partir de sua dimensão histórica.

Para ela a maior dificuldade foi interpretar os textos propostos, mas no final do ano conseguiu abrir a mente e mudou sua concepção acerca da Física, compreendendo-a, antes tudo como um incessante ato de questionar. Sendo que alguns desses questionamentos a aluna foi capaz de responder.

Apresentou baixa expectativa em relação às atividades por achar a Física difícil, conforme evidenciado em seu texto:

Eu não tinha muitas expectativas, sempre achei física difícil, mais já no início, fui gostando e me interessando e comecei a ter expectativa de que a eletricidade é brilhante [...] No começo pensava que o professor era doido, pelas perguntas que ele fazia e pelo jeito que ele dificultava as coisas, mas do decorrer quando ele começou a tirar a física do rumo da matemática e levar pro rumo da história eu passei a entender e compreender melhor a física. [...] Pretendo continuar evoluindo e me torna uma pessoa com mais questionamentos porque o professor Fernando me ensinou a questionar tudo. (Síntese integradora da aluna Marimar)

Depois do engajamento nas atividades propostas a aluna, segundo ela, muda a sua expectativa, ampliando seus conhecimentos. Mas antes disso, ocorre um estranhamento em relação ao modo de apresentação da Física, de modo que diante dos questionamentos e do modo como as atividades eram propostas a aluna faz uma leitura do professor como um louco.

Em seguida aluna se mostra deslumbrada com a simplicidade e a riqueza de possibilidades de problematização teóricas da garrafa de Leyden, embora continue achando a teoria da eletricidade muito complexa, e acredita que sua dificuldade é por que não tem proximidade com a disciplina.

Mostrou-se mais interessada quando da solicitação para a realização das atividades experimentais. Como sentido da experiência de desenvolvimento das atividades propostas a aluna elenca a ampliação de seus horizontes intelectuais.

Finaliza o seu texto com uma pretensão de desenvolvimento de sua capacidade de questionar, vez que o professor, como proposta de ação rumo ao conhecimento, defendeu sempre a possibilidade de tudo questionar. Assim é preciso ter sorte, pois a empreitada não é fácil.

### Aluna Mundo Novo

Aluna inicia sua síntese explicitando que tinha a expectativa de aprender o máximo possível, porém não conseguiu e questiona se foi por ação dela ou pela metodologia utilizada pelo professor em sala de aula. Ao longo do ano a aluna se mostrou muito relutante em participar das atividades e métodos de avaliação propostas, manifestando uma grande preocupação com o Enem. Questionou oficialmente a necessidade de se colocar as justificativas em todas as questões de uma avaliação objetiva.

Mesmo não compreendendo bem a proposta do professor aluna diz que aprendeu diversas coisas sobre eletricidade e de modo diferente do que estava acostumada a aprender, observando que na constituição da teoria da eletricidade há diversas curiosidades, como os saberes sobre o raio, relâmpago e trovão

Teve dificuldades que não foram superadas durante o ano letivo

Eu aprendi a história da eletricidade [...] por traz de cada equipamento que ajudou a desenvolver a interação com a energia elétrica, [...] fiquei maravilhada com a associação da teoria com a pratica, [...]. Eu vi nos textos que a física conseguiu explicar vários fenômenos que antes eram considerados mitológicos, e que muitos estudiosos do passado correram risco de vida passando por experimentos e que muitos eram confundidos com loucos, e também da forma que eles foram descobrindo bem aos poucos onde o “trabalho” nunca e finalizado nem esquecido, porque sempre alguém pega pra continuar ou relatar, data , explicar. [...] A eletricidade é uma coisa muito complexa e fácil de se aprender. Várias pessoas ficam se perguntando como tal coisa pode acontecer. A máquina elétrica, por exemplo, você fica imaginando como aquilo funciona e o cara que inventou ela, é um gênio. (Síntese integradora da aluna Mundo Novo)

Aluna reconhece que por trás do funcionamento dos equipamentos elétricos no mundo contemporâneo existe uma história repleta de fatos intrigantes e de caráter sempre inacabado, marcada pela a ação humana, capaz de ser projetada tanto regressivamente quanto progressivamente, pela permanência e persistência de dúvidas e pelas trocas culturais que possibilitam as trocas culturas entre diferentes gerações e culturas.

Nesse ponto a aluna deixa transparecer duas concepções acerca da história e da filosofia da ciência. A primeira delas é a imagem do sujeito que produz conhecimento científico como um resignado no ato de conhecer e de não ser compreendido pelo seu conhecimento, o gênio incompreendido, estereotipado como louco ao mesmo tempo que sábio ou com poderes fantásticos. Ora essa imagem rala do dito cientista é difundida

socialmente pela indústria cultural de massas e que cumpre diversas funções sociais, sendo que uma delas é a desvalorização social do cientista.

A segunda concepção manifestada pela aluna é a ideia de que os conhecimentos acerca da natureza estão dados no perfeito mundo das ideias puras, uma espécie de idealismo platônico, onde cabe ao cientista a tarefa de desvelar os segredos da natureza, de descobrir e tornar público esses segredos. Por outro lado, a aluna também sugere que o conhecimento em Física cumpre uma das funções sociais de substituição do mito na elaboração de modelos teóricos explicativos acerca da natureza.

Em seguida a aluna manifesta uma postura contraditória ao afirmar que “a teoria da eletricidade é muito complexa e fácil de se aprender”. Essa tensão onde termos paradoxais (fácil/difícil) fazem referência ao mesmo predicativo do sujeito, pode ser solucionada quando se compara duas teorias da eletricidade distintas, ou por dois olhares distintos sobre um mesmo conhecimento. O primeiro olhar sobre a teoria da eletricidade do modo como esta se apresenta nos livros didáticos tanto do Ensino Médio como do Ensino Superior, com um saber deslocado tanto de seu contexto de produção quanto de sua história de constituição, interpreta esse saber como uma verdade absoluta sempre existente de modo eterno no espaço e no tempo, que para ser compreendido e elucidado é preciso ter o domínio de um ferramental matemático, seja a matemática de nível básico seja os métodos matemáticos de Física Teórica. Ora essa teoria pretensamente atemporal e ofertada como uma verdade acerca da natureza, por seu caráter excessivamente idealista, apresenta-se como difícil para a aluna, inacessível apesar de todos os seus esforços.

O segundo olhar sobre a teoria da eletricidade pode ser operado a partir de sua constituição histórica, onde é possível conhecer o movimento dessa constituição, explicitando diversas facetas do fazer científico, como as operações por analogia, as fragilidades e inconsistências dos primeiros modelos teóricos explicativos propostos, a simplicidade do método científico adotado, a falta de rigor e de aparelhos sofisticados quando das atividades experimentais em eletricidade. Esse olhar insere a teoria da eletricidade no universo material e humano, aproximando-a da realidade cotidiana e da dimensão social do conhecimento em Física como sendo elemento integrante da cultura contemporânea. Partindo desse olhar, a teoria da eletricidade pode ser considerada como sendo relativamente fácil de ser compreendida.

Aluna Vila Monteiro

Inicia sua síntese problematizando os elementos de seus mecanismos internos de aprendizagem e reconhecendo que seu modo excessivamente inquisitivo de buscar conhecer não é valorizado pela escola, o que se reflete nas avaliações quantitativas com rendimentos abaixo do esperado. Por outro lado, na sua participação na estratégia didática os seus questionamentos.

Demonstra grande engajamento na apreciação crítica do documentário, conseguindo elaborar vários questionamentos acerca do tema, atenta para o caráter classista das apresentações espetaculares características das sociabilidades do século XVII, onde as pessoas que não pertenciam ao círculo das elites não tinham acesso a essas apresentações.

De modo contraditório, não consegue fazer o confronto entre as narrativas presentes nos textos e as narrativas presentes no documentário, tomando uma proposta pela outra de modo tenso, apresentando uma luta de contraditórios e hesitação como ficam evidenciados nos trechos:

O que eu achei muito interessante também foi a tamanha coragem dos caras que testavam a experiencia isso é legal? E apesar de eles serem vistos naquela época como mágicos, eram somente pessoas comuns com curiosidades extremas. Que bom que o mundo tinha eles [...] me apaixonei ainda mais pela física, não estudamos somente a física em si, mas o passado, os homens importantes e os seus procedimentos até aqui. (Síntese integradora e autoavaliação da aluna Vila Monteiro)

Nesse momento, emerge um turbilhão de significados e sentidos elaborados pela aluna, de modo a prejudicar o encadeamento lógico do texto, vez que justapõe diversas ideais distintas acerca da história da eletricidade. Ao tratar da coragem dos eletricitistas de então, não deixa claro em que aspecto essa coragem se manifesta (No pioneirismo da ação? Nos riscos à saúde devido a altas descargas elétricas?). Ainda no mesmo trecho, manifesta uma apreensão contraditória da concepção do eletricitista, tido inicialmente como um mágico, depois como um homem comum, mas de curiosidade diferenciada; sendo, portanto, fora do comum. Prosseguindo, a contradição atinge um ponto extremo de modo a aproximar a concepção do eletricitista à figura do gênio como o homem importante pelos seus feitos; sendo que essa imagem do gênio foi construída pelas narrativas do documentário e combatida pelos textos da estratégia didática.

Ainda no mesmo trecho, demonstra um sentimento muito positivo em relação à Física, afirmando que desenvolvera uma paixão cogitando até a possibilidade de prestar vestibular para Física e se projetando no futuro como doutora ou em Física ou em Letras.

Nesse outro ponto do texto, há um outro clímax, onde a estudante coloca no mesmo rol de preferência e de possibilidade de seguir carreira, tanto a Física como o curso de Letras, não fazendo distinções qualitativas e afetivas entre um e outro ramo do saber.

Prossegue demonstrando deslumbramento no que diz respeito à garrafa de Leyden, atentando para a sua simplicidade operacional e para as possibilidades de refinamento teóricos advindas de seu uso. Imediatamente depois dessa fala, problematiza o caráter imaginário do elétron, por ser uma elaboração teórica incapaz de ser vista como partícula material. Nesse ponto também, há uma fala carregada de significados quando posta no contexto das discussões acerca da dualidade onda-partícula. Além disso tal fala permite diversas leituras no que diz respeito a seu conteúdo epistemológico.

De um modo mais direto como significado elaborado pela aluna podemos elencar o funcionamento da garrafa de Leyden, a dualidade onda-partícula, as propriedades elétricas do corpo humano, a analogia elétrico-mecânica onde os fenômenos de atração-repulsão podem ser compreendidos a partir da atração gravitacional Terra-Lua.

Já no que diz respeito aos sentidos, a estudante usa o termo “eu viajei na física”, no sentido conotativo de entrega às experiências formativas propostas pela estratégia didática, também usa o termo “intensamente”, “impressionante”, extraordinário e “apaixonar-se” para fazer observações sobre uma ou outra realidade percebida quando de seus estudos. Por outro lado, quando das atividades, relata que sentiu um conjunto de sentimentos contraditórios indo da expectativa de aprender de modo diferente, passando pelo medo por se sentir produzindo um Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, chegando ao sentimento de desespero devido ao grande volume de atividades solicitadas em um curto intervalo de tempo.

Mas o principal sentido, segundo a estudante foi o de realização conforme a sua autoavaliação: “Sentido de realização e conhecimento, proporcionou-me muita aprendizagem, principalmente na hora de fazer a experiência e ter funcionado, algo que julgamos tão complexo está na frente. A física é incrivelmente extraordinária.”

Merece destaque também as dificuldades enfrentadas e superadas pela estudante: para atentar para os elementos importantes, fazer as leituras solicitadas. Também merece destaque o seu desejo pela carreira docente e seu desejo de transformar a si mesmo e a seus futuros alunos.

De acordo com as ponderações acima dispostas acerca das produções textuais dos participantes, quando da última etapa do processo formativo, é possível identificar que tais textos foram elaborados a partir de um rico e intenso diálogo com diversos elementos

presentes na estratégia didática, seja de saberes veiculados no documentário, seja nos saberes presentes nos quatro textos, seja no saber do fazer e do criar intrínseco à atividade experimental.

Além dessas reelaborações dos saberes em Física, também identificamos diversos elementos de natureza estética, como expectativa, deslumbramento e admiração, patrocinando assim a integração de conhecimentos onde é possível emergir a positividade do universo humano em toda a sua potencialidade e força criadora. Aliado a tais elementos também ficou evidente o modo como os participantes se projetam para o futuro de modo extremamente vacilante e dúbio, tendo como principais horizontes o projeto moderno de Formação Cultural (Bildung), a pressão social para que exerça uma profissão socialmente valorizada e para o consumo privado de bens na esfera privada, partir do desejo de constituir uma família.

Mesmo com esse caráter dubio da projeção de si no futuro, diversos elementos presentes nas produções textuais dos pesquisados indicam que os estudantes elaboraram diversos significados acerca da história da Física, manifestaram compreensões acerca de elementos de Filosofia da Ciência, demonstram entendimento acerca do caráter estrutural de longa duração do saber em Física e como a interação com os instrumentos materiais foram cruciais para o enriquecimento teórico da teoria da eletricidade.

Além de tudo, os textos dos participantes estão repletos de termos qualificadores como adjetivos, o que pode ser um indicativo dos sentidos positivos elaborados a partir do engajamento nas atividades e problematizações oriundas dessa estratégia didática, o que pode ser um indicativo da dimensão estética dessa proposta formativa<sup>54</sup>.

---

<sup>54</sup> A formação de conceito ou a aquisição de sentido através da palavra é o resultado de uma atividade intensa e complexa (operação com palavra ou signo), da qual todas as funções intelectuais básicas participam em uma combinação original. (VIGOTSKY, 2000, p. '168)

## 6 PARA NÃO CONCLUIR OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

*O processo de formação e de extensão da compreensão não é linear, é modulado por ciclos de ajuste e internalização da experiência, mas ocorrem picos de clímax onde os propósitos das atividades são atingidos, ocorrendo assim a formação de totalidades, proporcionando um manancial inesgotável de possibilidades de interações dirigidas conscientemente pelo participante no sentido de participar da construção dos significados do mundo*

Depois desse longo percurso trilhado, parafraseando um certo escritor, um autor nunca termina uma obra, simplesmente ele desiste de a terminar (REIF, 1985). Nesse sentido, para não concluir, aqui também adotamos a mesma atitude de abertura característico do presente trabalho, vez que os resultados aqui obtidos são parciais, intrinsecamente correlacionados com o contexto sócio histórico no qual foram produzidos, o que, no entanto, não invalida algumas leituras de caráter genérico, a título de considerações finais.

As concepções de História e Filosofia da Física e os fundamentos das práticas pedagógicas características do presente trabalho contestam de modo flagrante diversos elementos presentes na História e Filosofia da Ciência que possuem profundas implicações no contexto educacional em Ensino de Física, principalmente no que diz respeito ao aspecto fechado às elaborações de sentidos característicos dos sistemas avaliativos que enfatizam aspectos da lógica formal tecnicista com vistas a obter sucesso em processos seletivos para ingresso a instituições de Ensino Superior. No contexto específico dos temas relacionados ao Eletromagnetismo, há uma proposta de superação da abordagem sacralizada nos manuais de ensino e nos currículos escolares, apresentando uma outra lógica diferente de apresentação e problematização do saber com vistas a implementar discussões acerca da natureza da Física e de sua historicidade, com vistas a afirmar a positividade do sujeito conhecedor a partir do uso da língua materna escrita.

Para tal propusemos uma aproximação entre o fazer do pesquisador em Ensino de Física e as ferramentas conceituais que integram o metier do historiador em seu ofício de elaborar narrativas acerca de um dado passado. Essa aproximação é crucial para compreendemos onde se situam as discussões acerca das supostas distorções e discursos que qualificam uma dada interpretação histórica como equivocada. Além disso também explicitamos o lugar social da fala que norteia a prática educativa que possibilitou a elaboração da estratégia didática objeto do presente trabalho e por último identificamos

os pressupostos filosóficos que orientam o a nossa prática educativa, no desejo de superação do Operacionalismo no Ensino de Física na Educação Básica.

De acordo com diversos saberes aqui discutidos, para o professor pesquisador em Ensino de Física, que se ocupe com qualquer objeto de pesquisa que não só a História e a Filosofia da Ciência, é crucial esclarecer pelo menos para si mesmo, quais são os pilares filosóficos e políticos que sustentam tanto a prática docente como a atividade de pesquisa. Tarefa hercúlea, porém, crucial, vez que, nos últimos anos, no caso do Brasil, estamos experimentando um vertiginoso avanço nas pesquisas em Ensino de Física, com produções nos mais diversificados temas. Ao mesmo tempo que vivenciamos esse processo, também percebemos que os resultados dessas pesquisas, de um modo ou de outro, não conseguem alcançar de modo sistêmico os mais diferentes contextos de salas de aulas de sujeitos distantes das referidas pesquisas (SALEM, 2012). Essa realidade pode ser um indicativo de que um dos principais problemas do Ensino de Física do Brasil não é só um problema de escassez de instrumentação ou de métodos eficazes de ensinar, mas antes de tudo, uma forte presença de automatismos operacionais na prática docente com fundamentações políticas e filosóficas mais ou menos espontâneas, implícitas, contraditórias, híbridas e inconscientes, mas que no entanto cumprem com eficácia os suas funções sociais patrocinando a escolarização e embrutecimento ou propondo superações a partir da educação e da emancipação.

O presente trabalho foi um ato de pesquisa uma tentativa de esclarecer, de por as cartas na mesa, de tornar translúcidos os elementos teóricos que foram ponderados tanto na elaboração da narrativa histórica acerca da teoria da eletricidade quanto na elaboração de sua transposição didática para a Educação Básica. Ao fazer isso, assumimos e reconhecemos que o quadro teórico aqui elaborado é complexo, chama para si diversas responsabilidades sociais, o que pode ser, à primeira vista, tido como um projeto fracassado.

Mas com fidelidade ao método, reconhecemos que o ponto de partida são as contradições da modernidade, são os destroços, os seus cacos. É preciso reconstruir com o pouco disponível, sempre ofertando o máximo de si, sem esperanças pueris e redentoras, sem otimismo ingênuos. Antes, reconhecendo que o desejo de reconstituição da experiência (*Erfahrung*) se alimenta de lampejos, de sentidos, de exceções e não de regras.

Consciente dessa realidade, produzimos um trabalho aberto tanto no que diz respeito a seu poder de significação quanto à sua capacidade de provocar elaborações de sentidos. Essa abertura é a coluna vertebral do presente trabalho. Assim, principalmente



o texto histórico acerca da teoria da eletricidade, possui infinitas possibilidades de problematizações o que, conseqüentemente, exige questionamentos abertos, onde o sujeito do conhecimento se coloca de modo positivo como sujeito pensante, capaz de criar significações e sentidos acerca dos processos formativos por ele vivenciado. Ao se colocar no mundo dessa forma, não o faz de modo consciente, claro e objetivo, antes o contrário de modo parcial, daí a importância de se valorizar as questões parcialmente corretas ou as questões erradas com enunciados corretos em outros contextos, pois o objetivo de toda e qualquer prática educativa com vistas à educação e à emancipação é incluir, é valorizar o que é manifestado como saber em um dado instante pontual, usando escalas de medidas estreitas, pois todo e qualquer instrumento avaliativo jamais é capaz de identificar a totalidade dos significados elaborados quando de engajamentos em processos de ensino e aprendizagem.

Além disso a aprendizagem é processo extremamente complexo de modo que o sujeito dificilmente consegue identificar o que de fato ele realmente aprendeu

Ao término de um processo formativo como a estratégia didática proposta não esperamos obter resultados extremamente satisfatórios sob a ótica tecnicista avaliativa que permeia o contexto escolar, pois mesmo finalizado esse percurso, os sujeitos participantes ainda estão elaborando suas sínteses integradoras. Assim a estratégia didática não é o fim de uma prática, mas o início de uma forma diferente de conceber a realidade<sup>55</sup>.

Por outro lado, em processos avaliativos em Educação Básica, principalmente no que diz respeito ao Ensino Médio precisamos abrir mão de uma imagem idealizada, abstrata, neutra e vazia no que diz respeito aos estudantes. O desafio é considerar o aluno real, em sua polissemia existencial. É estar consciente que as crianças e os adolescentes até conseguem lidar com determinados conceitos<sup>56</sup>, mas não de modo operacional e

---

<sup>55</sup> “[...] A aprendizagem pode produzir mais no desenvolvimento que aquilo que contém em seus resultados imediatos [...] No desenvolvimento ela pode surtir efeitos de longo alcance e não só aqueles de alcance imediato.” (VIGOTSKY, 2000)

<sup>56</sup> A primeira coisa que merece ser ressaltada neste campo é a profunda discrepância que, no experimento, se manifesta entre a formação do conceito e a sua definição verbal. Essa discrepância se mantém em vigor não só no pensamento do adolescente, mas também do adulto, mesmo em um pensamento às vezes sumamente evoluído. A existência de um conceito e a consciência desse conceito não coincidem quanto ao momento do seu surgimento nem quanto ao seu funcionamento. O primeiro pode surgir antes e atuar independentemente do segundo. A análise da realidade fundada em conceitos surge bem antes que a análise dos próprios conceitos. (VIGOTSKY, 2000, p. 229)

consciente (VIGOTSKY, 2000). Assim ao trabalhar com questões abertas e ao exigir sínteses integradoras não é professor que questiona o aluno acerca de seu saber, é o próprio aluno que questiona a si mesmo, como sujeito conhecedor, e talvez os sistemas avaliativos tradicionais não tenham permitido tal exercício.

Além dessa escassez de sistematicidade dos conceitos científicos, temos que ponderar que a adolescência é momento de diversas crises, e que essas crises podem ganhar dimensões extremamente dramáticas e em determinados contextos sociais. Aliado a essas crises também temos o fato de que os adolescentes ainda não atingiram a maturidade intelectual de modo que não podemos exigir desses repostas relativamente complexas<sup>57</sup> como as elaboradas na estratégia didática com um elevado grau de precisão de modo que estas sejam consideradas completamente corretas.

Dessa forma nas produções textuais dos participantes não é de se esperar que os conceitos acerca da eletricidade<sup>58</sup> apareçam de modo acabado, daí a importância da dimensão estética do saber, da incompletude que se completa sempre a cada nova experiência inédita com o mesmo saber.

Devido a seu caráter aberto, as questões problematizadoras que acompanharam os quatro textos produzem inflexões na dinâmica da sala de aula, freando o cotidiano, exigindo do estudante a produção textual. Ao produzir textos escritos o aluno é provocado a pensar de modo profundo acerca do saber e acerca de si mesmo, pensamento silencioso, não pronunciado, exigindo uma dupla abstração, uma relacionada ao interlocutor imaginário e outra relacionada aos mecanismos objetivos que permitem a materialização da linguagem no seu caráter escrito.

Alguns questionamentos podem ser levantados em relação à escolha dos instrumentos de produção de dados partindo das produções textuais ao invés da gravação de das aulas, ou das falas dos estudantes, vez que a atividade escrita é relativamente

---

<sup>57</sup> [...] os próprios conceitos do adolescente e do adulto, uma vez que sua aplicação se restringe ao campo da experiência puramente cotidiana, frequentemente não se colocam acima do nível dos pseudoconceitos e, mesmo tendo todos os atributos de conceitos do ponto de vista da lógica formal, ainda assim não são conceitos do ponto de vista da lógica dialética e não passam de noções gerais, isto é, de complexos. (VIGOTSKY, 2000, p. 229).

<sup>58</sup> [...] os conceitos científicos não são assimilados nem decorados pela criança, não são memorizados (sic) mas surgem e se constituem por meio de uma imensa tensão de toda a atividade do seu próprio pensamento. (VIGOTSKY, 2000, p. 260). Além disso, “[...] um conceito é mais do que a soma de certos vínculos associativos formados pela memória, é mais do que um simples hábito mental; é um ato real e complexo de pensamento que não pode ser aprendido por meio de simples memorização.” (VIGOTSKY, 2000, p. 246)

difícil, exige grande abstração e, ainda no âmbito escolar, pode apresentar um vocabulário relativamente pobre, ao passo que a oralidade é mais espontânea e mais rica de possibilidades de expressão e de problematização. Ora aqui se manifesta uma das especificidades intrínsecas a essa pesquisa, que se dá em um contexto de sala de aula, de modo que a atividade da pesquisa não deve se concentrar excessivamente nos objetivos internos da pesquisa, mas também deve ponderar a responsabilidade do professor pesquisador em relação aos sujeitos da pesquisa. Como vivemos em um estado democrático de direito, onde os mais diversos mecanismos de acesso ao exercício da cidadania valorizam o documento escrito em detrimento de outras possibilidades de linguagens, no contexto escolar é preciso ensaiar essa produção textual que não só um texto dissertativo de 30 linhas com vistas o ingresso em instituições de Ensino Superior. A produção textual em Ensino de Física provoca o encontro da abstração do objeto com a abstração do sujeito. Assim se dificultamos por um lado a produção e a análise dos dados por outro lado propiciamos experiências formativas mais inseridas nos embates sociais característicos de sociedade pautada em documentos escritos<sup>59</sup>. A convivência com a leitura de textos abertos e a aprendizagem da escrita são fundamentais para a vida no mundo capitalista contemporâneo, vez que o texto escrito além de ser elemento crucial das disputas sociais, o hábito de escrever desencadeia para a vida o desenvolvimento de todas as funções que ainda não amadureceram no sujeito escolar.

Além disso, se o nosso objetivo foi captar os significados e os sentidos dos participantes da pesquisa acerca da História e da Filosofia da Física no contexto da teoria da eletricidade, a linguagem escrita<sup>60</sup>, embora não percebida como de grande importância no processo do desenvolvimento educacional, é um dos recursos de acesso à linguagem

---

<sup>59</sup> [...] em proporções bem maiores que na linguagem falada, o pensamento emitido se expressa nos significados formais das palavras que empregamos. O discurso escrito é um discurso feito na ausência de interlocutor. Por isso é um discurso desenvolvido ao máximo, nele a decomposição sintática atinge o apogeu. Ali, graças à divisão dos interlocutores, raramente são possíveis a compreensão a meias palavras e os juízos predicativos. Na linguagem escrita, os interlocutores estão em diferentes situações, o que exclui a possibilidade de existência de um sujeito comum em seus pensamentos. Por isso, comparado ao discurso falado, o escrito é, neste sentido, maximamente desenvolvido e uma forma de discurso sintaticamente complexa na qual, para enunciar cada pensamento isolado, precisamos empregar muito mais palavras do que se faz com a linguagem falada (VIGOTSKY, 2000, p. 452).

<sup>60</sup> [...] Na linguagem escrita nós mesmos somos forçados a criar a situação, ou melhor, a representá-la no pensamento. Em certo sentido, o emprego da linguagem escrita pressupõe uma relação com a situação basicamente diversa daquela observada na linguagem falada, requer um tratamento mais independente, mais arbitrário e mais livre dessa situação. (VIGOTSKY, 2000, p. 315)

interior do participante, que é onde predominam as elaborações dos sentidos (VIGOTSKY, 2000). Não bastasse isso, admitindo a responsabilidade pelo mundo, e pelo desenvolvimento dos estudantes, a rotina de produção textual é fundamental para o desenvolvimento do psiquismo desses estudantes, devido aos elementos aqui expostos, vez que ato da escrita fomenta esse desenvolvimento.

Contestamos um ensino da Teoria da Eletricidade pautado excessivamente na linguagem matemática, que se não inviabiliza, pelo menos dificulta o processo de significação por parte dos alunos, devido à ausência da possibilidade de elaboração de sentidos autênticos acerca do saber em Física, que encobre com um véu do embrutecimento os mecanismos característicos da elaboração do saber nesse ramo do conhecimento.

Entendemos que o formulismo muito presente nas abordagens da teoria da eletricidade no Ensino de Física na Educação básica superficializa as relações dos estudantes com o saber, o que empobrece as possibilidades de elaborações autênticas de significados e de sentidos e impossibilita ultrapassar o caráter conteudista do cotidiano do Ensino de Física nesse contexto.

Não raras vezes, o elétron é apresentado como uma partícula material portadora de carga elétrica, conhecida desde a antiguidade clássica, fomentando anacronismos diversos que insinua que a teoria da eletricidade é uma ciência moderna relativamente velha e desde sempre bem consolidada. O presente trabalho busca um posicionamento crítico em relação à associação do Ensino da Teoria da Eletricidade a partir da problematização histórica que pressupõe como horizonte a pretensa história universal e que adota o Operacionalismo como filosofia predominante nos contextos escolares.

Como uma proposta de superação dessas abordagens em Ensino de Física, o presente trabalho, procurou incorporar elementos de uma história materialista da ciência e uma filosofia realista da ciência a partir dos processos de eletrização como uma proposta alternativa de trabalho, tentando, entre outras coisas, proporcionar possibilidades de elaborações de sentidos e de significados em relação à Teoria da Eletricidade frente tanto ao formulismo como a uma concepção instrumental da Epistemologia no Ensino de Física.

Para ilustrar a possibilidade de elaboração de narrativas históricas pautadas nos pressupostos históricos, educacionais e filosóficos já discutidos, elaboramos uma interpretação histórica de alguns desdobramentos característicos da constituição da Teoria da Eletricidade tendo a mediação dos sujeitos com os instrumentos (máquina

elétrica, garrafa de Leyden e pilha voltaica) como um fenômeno de importância crucial para as mudanças qualitativas no psiquismo desses sujeitos, o que produz reflexos tanto no enriquecimento material da teoria como em refinamentos teóricos. Tal abordagem também ambiciona superar a dicotomia entre abordagem internalista e externalista, a partir dessa concepção de mediação e de sua relação com o psiquismo.

A referida interpretação histórica também fez uso da ferramenta conceitual do tempo histórico estrutural de longa, média e curta duração e, pelo esmero do trato com a linguagem, recoloca os personagens e os cenários históricos em um contexto que pretende a compreensão do **Zeitgeist** do espaço e do tempo no qual alguns fatos históricos influenciaram alguns desdobramentos da Teoria da Eletricidade.

Somente após a confecção dessa narrativa histórica, foi possível a montagem da estratégia didática e do percurso metodológico, a partir do qual foram explicitados os procedimentos e instrumentos de produção e problematização dos dados que compuseram a presente pesquisa. Também no percurso metodológico foram apresentadas algumas especificidades do contexto sócio histórico nos quais os sujeitos participantes reproduzem suas existências materiais, bem como algumas características desses sujeitos.

Do início das atividades da estratégia didática até o seu clímax representado pelas apresentações das atividades experimentais e elaborações das produções textuais houve uma impregnação das vivências dos sujeitos pesquisados com diversos saberes relacionados à Teoria da Eletricidade pelo viés histórico, de modo a extrapolar as zonas de desenvolvimento potencial desses sujeitos.

A problematização dos textos históricos em Ensino de Física enfrenta diversos obstáculos, muitos deles oriundos das contradições entre o projeto de Formação Cultural da modernidade (**Bildung**) e sua proposta de episteme, o Esclarecimento (**Aufklärung**), que fomenta o estabelecimento de relações superficiais e instrumentais entre os sujeitos e o saber. Além disso, há os problemas de níveis linguísticos, as assimetrias entre as linguagens dos textos, dos alunos e do professor quando das interações em sala de aula.

As dificuldades acima elencadas são amplificadas pelas especificidades da cognição dos adolescentes no que diz respeito aos processos de formação dos conceitos científicos<sup>61</sup>. Adolescência é um momento ímpar de crise e amadurecimento do pensamento, onde os pensamentos possuem um caráter transitório (VIGOTSKY, 2000).

---

<sup>61</sup> [...] o adolescente aplica a palavra como conceito e a define como complexo. Esta é uma forma excepcionalmente característica do pensamento na fase de transição, forma essa que oscila entre

No que diz respeito a algumas questões que acompanham os textos históricos, o grau de complexidade foi mesclado de modo que as exigências de elucidação não seguem uma ordem linearmente gradativa de dificuldade. Assim em diversas questões os participantes foram provocados a produzirem respostas radicalmente originais e em outras situações as soluções puderam ser encontradas no texto, de modo que em diversas respostas foram encontradas transcrições literais de fragmentos dos textos. Muitos alunos, no entanto, demonstraram dificuldades na elucidação das questões que exigiam uma reflexão ou uma operação relativamente mais elaborada, como no caso da nona questão do texto 4 que exigia do aluno a confecção de um quadro comparativo entre os saberes elaborados segundo os preceitos de Galvani e os saberes elaborados a partir das concepções de Alessandro Volta. Essas questões de profundidade de uma forma ou de outra explicitam as dificuldades dos estudantes em resolver problemas com relativa complexidade.

Em relação aos sentidos e significados elaborados pelos participantes e relacionados ao caráter epistemológico da estratégia didática é possível indicar que em diversos momentos os participantes fizeram referências às estruturas de longa duração e às mediações efetivadas a partir das interações sociais com os instrumentos materiais elaborados única e exclusivamente com o propósito de se estudar os fenômenos hoje relacionados à teoria da eletricidade. Entretanto em diversos momentos também foi possível identificar nas falas dos participantes a permanência de diversos elementos e concepções relacionadas ao Operacionalismo e às narrativas históricas associadas à pretensa história universal. Essas permanências possuem diversos mecanismos de funcionamento de modo que associá-las ao insucesso da estratégia didática é no mínimo desconhecer alguns desses mecanismos como por exemplo o caráter de longa duração do próprio conhecimento científico que traz consigo também as contradições, pressupostos e preconceitos do contexto socio histórico no qual esse conhecimento foi e é elaborado.

Além desse caráter de longa duração do conhecimento científico podemos destacar que o desenvolvimento dos processos psíquicos dos estudantes possui sua própria lógica interna que nem sempre coincide de modo harmônico com o desenrolar das atividades relativas aos programas curriculares oficiais. Assim em diversas

---

o pensamento por complexos e o pensamento por conceitos. [...] as maiores dificuldades que o adolescente só costuma superar ao término da idade de transição consistem na contínua transferência do sentido ou significado do conceito elaborado para situações concretas sempre novas, que ele pensa no plano também abstrato (VIGOTSKY, 2000, p. 231).

circunstancias o processo de desenvolvimento dos conceitos científicos não cessa quando finalizado um percurso formativo, ele pode se perpetuar no tempo, sempre à frente da aprendizagem, de modo que, possivelmente quando do engajamento nas atividades propostas pela presente estratégia didática, o processo de internalização e desenvolvimento dos conceitos científicos não foram encerrados com o término do percurso, antes apenas começou<sup>62</sup> (VIGOTSKY, 2000).

Também temos que ponderar que o processo de maturação e desenvolvimento do psiquismo dos estudantes é um processo incessante, intrinsecamente correlacionado com a experiência sócio cultural e por isso ocorre sempre em toda aula, não se decompondo de modo estanque e compartimentado em uma ou outra disciplina escolar. Partindo dessa concepção também temos que ponderar que todo e qualquer processo avaliativo, como as sínteses integradoras e as questões que acompanham os quatro textos da estratégia didática, apenas identificam indícios de amadurecimentos conceituais de modo extremamente pontual<sup>63</sup>, onde a associação de um conceito acerca da teoria da eletricidade e o conjunto de palavras utilizadas para o designar, não é por si só suficiente para se afirmar ou se garantir que o referido conceito foi de fato internalizado pelo estudante (VIGOTSKY, 2000).

Se a aprendizagem é uma atividade de criação de significados e de sentidos, onde o saber é ressignificado, adquirindo características intimamente personalistas, então é preciso sempre exigir algo ligeiramente acima da capacidade de rendimento dos estudantes e se as práticas forem pautadas em atividades de cunho coletivo, diversas dificuldades podem ser superadas, favorecendo a maturação do psiquismo dessa coletividade.

Se nas atividades requeridas na estratégia didática exigem do aluno habilidades que este não possui, mesmo que ele não tenha êxito na realização de uma ou outra tarefa ele sempre se ver obrigado a confrontar a si mesmo em diversas situações problemas

---

<sup>62</sup> [...] no momento em que a criança toma conhecimento pela primeira vez do significado de uma nova palavra, o processo de desenvolvimento dos conceitos não termina mas está apenas começando (VIGOTSKY, 2000, p. 250).

<sup>63</sup> [...] a formação de conceitos é um processo de caráter produtivo e não reprodutivo, que um conceito surge e se configura no curso de uma operação complexa voltada para a solução de algum problema, e que só a presença de condições externas e o estabelecimento mecânico de uma ligação entre a palavra e o objeto não são suficientes para a criação de um conceito. (VIGOTSKY, 2000, p. 156). Nesse sentido, os conceitos científicos são dinâmicos, possuem uma história, desenvolvem-se e não são assimilados de uma forma acabada, e por isso esse processo possui uma dimensão estética indissociável, uma incompletude ontológica.

diferentes, favorecendo o exame de si, de sua relação com o saber e de suas projeções de si para o futuro.

Em relação ao grande número de abstenções de respostas de questões que acompanham os textos, identificamos que ela foram produzidas em grande parte pela irregularidade da frequência dos alunos e pelo não engajamento de alguns alunos nas atividades propostas pela estratégia didática, devido a um conjunto de fatores outrora já problematizados, mas o que merece destaque é a contradição entre o projeto de disciplina e ordem da Escola Militar Tiradentes V, que pelo menos no plano discursivo se propõe a ser uma instituição que toma como critério básico de sua razão de ser a disciplina e a ordem, mas que no plano prática apenas se consuma como pretensão disciplinar.

Esse fato também é revelador do cotidiano escolar, onde não existe uma regularidade uniforme da frequência dos estudantes, o que compromete os resultados de toda e qualquer atividade pedagógica. Assim na pesquisa, não foi requisitado dos alunos faltosos as respostas em outros contextos que não os das atividades em sala de aula, de modo que se o aluno não faltou, não fez a atividade, o que acabou refletindo no valor quantitativo de sua nota final do quarto bimestre e na não internalização de alguns conceitos acerca da teoria da eletricidade, o que fica evidente nas limitações presentes em suas produções textuais quando das sínteses integradoras.

Embora desejamos que partindo de estratégias didáticas semelhantes a esses seja possível implementar mudanças qualitativa e estruturais, sabemos que essas mudanças podem ser de pouco e impacto e ainda mais se não houver continuidade de aplicação de esforços. Por outro lado, a introdução de mudanças na prática do Ensino de Física não depende somente dessa esfera da política de elaboração de estratégia voltada para a Educação Básica, mas atravessa o cotidiano da sala de aula, exigindo do professor a ação parcimoniosa, resignada, consciente, sem utopias e sem niilismo. Sempre à espreita da mudança, tentativas de mudanças de rotinas, de modos de fazer, valorizando os detalhes. Alterar a prática é modificar a si mesmo, e isso é possível com formação continuada, formação prática, formação teórica, experimentação de métodos e técnicas que se apresentam como alternativas.

O ensino de Física na escola de nível médio, dentre outros objetivos, tem um objetivo tácito de proporcionar ao aluno a apropriação das categorias e conceitos científicos bem como compreender a realidade em que vive, dito de outra maneira, tem por objetivo convidar o aluno a perceber a natureza. A espinha dorsal do ensino de Física nesse nível de ensino são o uso consciente das categorias diversas como **espaço, tempo,**



**energia, momento, trabalho, campo gravitacional, campo eletromagnético** e as **leis de conservação**; então os conteúdos precisam ser abordados tendo como pano de fundo esses termos, sendo meios e não finalidades terminais em si. Isso é preciso para que aluno seja capaz de fazer suas próprias análises dos acontecimentos com a linguagem que o aluno domina ou que é possível ele dominar no prazo da Educação Básica.

Sem perder de vista o fato de que os alunos do Ensino Médio são crianças ou adolescentes e que estão ainda constituindo os traços fundamentais de suas personalidades, o conhecimento físico é capital na discussão da identidade individual e de como o indivíduo se insere na coletividade. Para discutir essas realidades abstratas com eficiência é necessário fazer uma meticulosa transposição didática capaz de fomentar no aluno o desenvolvimento de sua sensibilidade sobre a natureza como uma forma legítima de conhecer e ler o mundo.

A incorporação de elementos de História e Filosofia da ciência a partir dos processos de eletrização aliada à preocupação com a dimensão da linguagem nesse contexto pode diminuir o distanciamento entre sujeito e objetos e entre sujeitos, pode proporcionar uma prática de Ensino de Física pautada na produção de textos orais e escritos. Ao propor essas atividades com viés histórico, problemas rotineiros que fazem uso da produção de textos como expressão de resultados obtidos os discentes manifestaram preocupações com o uso e o significado das palavras, demonstraram critérios de seleção de termos correlacionados aos pensamentos destes e mais ainda demonstraram apropriação da capacidade argumentativa além de perceberem que a produção de texto de Física é uma atividade extremamente complexa, que desconcerta até mesmo o pesquisador em Ensino de Física.

A História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física inviabiliza a assimilação passiva, o ato de decorar pela exatidão e insere o aluno no ato criativo, no qual é inevitável a elaboração de significados e de sentidos. Para isso é necessário trabalhar com oficinas de produção textual a partir de problematização do saber incorporando esses elementos, o que inevitavelmente aproxima os sujeitos do universo da literatura, da abstração, da Filosofia e da História de um modo geral. Com tal instrumento não só obtivemos resultados satisfatórios como também abrimos o Ensino de Física para o diálogo com outros saberes e apontamos para a possibilidade de realização de trabalhos transdisciplinares nos espaços formativos oficiais.

## REFERÊNCIAS

---

- 7GRAUS. Significados. **Significado de Zeitgeist**, 2019. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/zeitgeist/>>. Acesso em: 31 out. 2019. 18h20min.
- ALFONSO-GODFARB, A. M. **O que é história da ciência**. São Paulo: Brasiliense, 2004. (Coleção primeiros passos; 286).
- ARENDT, H. **A condição humana**. Tradução de Roberto Raposo. 10ª. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2007.
- ARIÈS, P. **História Social da Criança e da Família**. Rio de Janeiro: LTC, 1981.
- ARIÈS, P. **O tempo da história**. Rio de Janeiro : Francisco Alves, 1989.
- ARÓSTEGUI, J. **A pesquisa histórica: teoria e método**. Tradução de Andréa Dore. Bauru: EDUSC, 2006.
- ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Campinas: Editora da Unicamp, v. 1 e 2, 2018.
- ATELIÊ DE BRINQUEDOS CIENTÍFICOS. Novos equipamentos. **Ateliê de brinquedos científicos**. Disponível em: <<http://atelierciencias.br.tripod.com/novos.htm>>. Acesso em: 30 nov. 2019.
- BARRA, E. S. D. O. A metafísica cartesiana das causas do movimento: mecanicismo e ação divina. **Scientia e studia**, v. 1, p. 299-322, 2003. ISSN 3.
- BARROS, J. D. Os usos da temporalidade na escrita da história. **Saeculum - Revista de História**, João Pessoa, p. 144-155, jul/dez 2005.
- BELTRAN, M. H. R. **História da ciência para a formação de professores**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- BENJAMIN, W. **Magia e técnica, arte e política: Ensaio sobre literatura e historia da cultura**. Tradução de Sergio Paulo Rouanet. 3ª. ed. São Paulo: Brasiliense, v. 1, 1987. (Obras Escolhidas).
- BOSS, S. L. B. **Tradução comentada de artigos de Stephen Gray (1666-1736) e reprodução de experimentos históricos com materiais acessíveis: subsídios para o ensino de eletricidade**. Bauru: [s.n.], 2011.
- BRANDÃO, C. R. **O que é educação**. São Paulo : Brasiliense, 2007. (Coleção primeiros passos; 20).
- BRAUDEL, F. **O mediterrâneo e o mundo mediterrâneo na época de Felipe II**. 2ª. ed. Lisboa: Martins Fontes, 1983.
- BRAUDEL, F. **O Mediterrâneo: o espaço e a história**. Lisboa: Teorema, 1987.

BRAUDEL, F. **Os homens e a herança no Mediterrâneo**. São Paulo : Martins Fontes, 1988.

BRAUDEL, F. **História e Ciências Sociais**. 6ª. ed. Lisboa: Presença, 1990. (Textos universitários 46).

BRAUDEL, F. **La dinámica del capitalismo**. México: Fondo de Cultura Económica, 1993.

BUNGE, M. **Filosofia da Física**. Tradução de Rui Pacheco. São Paulo: Edições 70, 1973. 261 p. Coleção O saber da Filosofia.

BUNGE, M. **Teoria e Realidade**. Tradução de Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 1974. Coleção Debates.

BUNGE, M. **Ciência e desenvolvimento**. Tradução de Cláudia Régis Junqueira. Belo Horizonte São Paulo: Editora Itatiaia Editora da USP, v. 11, 1980. 135 p.

BUNGE, M. **Epistemologia**: curso de atualização. Tradução de Claudio Navarra. São Paulo: Editora da USP, v. 4, 1980. 246 p. Biblioteca de Ciências Naturais.

BUNGE, M. **La Filosofia de la Física**. Tradução de José Luis Garcia Molina. 2ª. ed. Barcelona: Ariel, 1982.

CAJORI, F. **A history of Physics**. 2ª. ed. New York: Dover Publications, 1962. 439 p.

CATROGA, F. **Os passos do homem como restolho do tempo**: memória e o fim da história. Coimbra: Almedina, 2009.

CONDE, M. Da historicidade da ciência e suas implicações. **Youtube**, 19-22 agosto 2013. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=VpyZGbSN7-0&list=PLNGNaemZCFoWCehkOaCfYBIJ8iUO6\\_S9k](https://www.youtube.com/watch?v=VpyZGbSN7-0&list=PLNGNaemZCFoWCehkOaCfYBIJ8iUO6_S9k)>. Acesso em: 20 2019 2019. 15h20min.

DAIX, P. **Fernand Braudel**: uma biografia. Rio de Janeiro: Record, 1999.

ELIAS, N. **Sobre o tempo**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

FANDOM. Enciclopédia Online Viki. **A primeira pilha elétrica**, 23 ago. 2013. Disponível em: <[https://enciclopediaonline.fandom.com/wiki/A\\_primeira\\_pilha\\_el%C3%A9trica](https://enciclopediaonline.fandom.com/wiki/A_primeira_pilha_el%C3%A9trica)>.

FERREIRA, L. A. P. **O conceito de contágio de Girolamo Fracastoro nas teses sobre sífilis e tuberculose**. Florianópolis: UFSC, 2008. 159 p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Enfermagem.

FOUCAULT, M. **Vigiar e punir**: o nascimento da prisão. 20. ed. Rio de Janeiro: Petrópolis, 1987. 288 p.

FOULCAULT, M. **A ordem do discurso**: aula inaugural no Collège de France, pronunciada em 2 de dezembro de 1970. Tradução de Laura Fraga de Almeida Sampaio. 5ª. ed. São Paulo: Edições Loyola, 1999.

GAGNEBIN, J. M. **Walter Benjamin**: Os cacos da história. Tradução de Sonia Salzstein. 2ª. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.

GHINS, M. Representação, realismo e leis científicas. **Escola Paranaense de História e Filosofia da Ciência**, 2011. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=\\_txrNgOMTro&list=PL5B96FCCFAC3DBA63](https://www.youtube.com/watch?v=_txrNgOMTro&list=PL5B96FCCFAC3DBA63)>. Acesso em: 05 janeiro 2019.

GHIRALDELLI JUNIOR, P. **O que é pedagogia**. 3ª. ed. São Paulo: Brasiliense, 2006. (Coleção Primeiros Passos).

GIL, A. C. **Metodos e Técnicas de pesquisa social**. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 1987. 206 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

HARRIS, O. Braudel: Historical Time and the Horror of Discontinuity. **History Workshop Journal Issue 57.** , 2004.

KONDER, L. **Walter Benjamin**: O marxismo da melancolia. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1999.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Tradução de Donaldson M. Garschagen. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006.

LAUE, M. V. **History of Physics**. Tradução de Ralph Oesper. New York : Academic Press Inc., Publishers, 1950.

LESSA, S. **Introdução à filosofia de Marx**. 2ª. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2011. 128 p.

MARTINS, R. D. A. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no. **Acta Scientiarum Technology**, p. 823-835, maio 2008.

MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense Ensino de Física**, v. 12, p. 164-214, dezembro 1995.

MAXWELL, J. C. **A treatise eletricity and magnetism**. Londres: Claredon Press, v. 1 e 2, 1873.

MEDEIROS, A. J. G. D. As Origens Históricas do Eletroscópio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, p. 353-361, setembro 2002. ISSN 3.

MEYER, H. W. **A History of Eletricity and Magnetism**. Norwalk: Burndy Library, 1972. 325 p.

MITROVITCH, C. **Experiência e Formação em Walter Benjamin**. Presidente Prudente: [s.n.], 2007. (Dissertação de Mestrado).

MORAES, R. Mergulhos discursivos: análise textual qualitativa entendida como processo integrado de aprender, comunicar e interferir em discursos. In: FREITAS, M. D. C. G. E. J. V. D. **Metodologias emergentes de pesquisa em educação ambiental**. Ijuí: Ed. Injuí, 2005. p. 85-114.

MORAIS, R. F. **A natureza da Eletricidade (Uma breve História)**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014. (dissertação de mestrado).

ODÁLIA, N. **O que é violência**. 4<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Brasiliense, 2004.

OLIVEIRA, B. D. M. A. ). A densidade e a evolução do densímetro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, 2013. ISSN 1.

QUEIROZ, A. C. M. D. Máquinas Eletrostáticas. **Máquinas Eletrostáticas**, 1999. Disponível em: <<https://www.coe.ufrj.br/~acmq/eletrostatica.html>>. Acesso em: 04 outubro 2019. 15h10min.

RAIČIK, A. C. A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 12 , p. 114-137, jan | jun 2019. ISSN 1.

RANCIÈRE, J. **O mestre ignorante Cinco lições sobre a emancipação intelectual**. Tradução de Lilian do Valle. Belo Horizonte: Aautentica, 2002. 144 p. (Educação, experiência e sentido).

REDE OMNIA. Brasil Escola. **Charles Coulomb**.

REIF, F. **Fundamentals of statistical and thermal physics**. New York San Francisco London Sydney Toronto St. Louis: McGraw-Hill, 1985.

REIS, J. C. **Escola dos Annales: a inovação em história**. São Paulo : Paz e Terra, 2000.

REYZÁBAL, M. V. **A comunicação oral e sua didática**. São Paulo: Edusc, 1999.

RICOEUR, P. **Tempo e Narrativa**. Campinas: Papyrus, v. 1, 1994.

ROCHA, J. F. M. **Origens e evolução das ideias da física**. 372. ed. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROLDAN, J. M. Máquinas Científicas. **Máquinas Científicas**, 14 novembro 2008. Disponível em: <<http://www.maquinascientificas.es/04otto-guericke.htm>>. Acesso em: 30. outubro 2019.

ROSSI, P. **O filósofo e as máquinas 1400-1700**. Tradução de Frederico Carotti. São Paulo: Cia das Letras, 1989.

SACK, H. A Wire to Connect the World – Stephen Gray’s Discovery. **SciHi Blog> science, tech & art in history**, 14 julho 2019. Disponível em: <<http://scihi.org/wire-connect-stephen-gray/>>. Acesso em: 10 outubro 2019.

SALEM, S. **Perfil, evolução e perspectivas da Pesquisa em Ensino de Física no Brasil**. São Paulo: USP, 2012. Tese (Doutorado).

SANTIAGO, E. Período Terciário. **InfoEscola: Navegando e aprendendo**, c2006. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/geografia/periodo-terciario/>>. Acesso em: 02 fevereiro 2019.

SANTOS, A. C. D. (. ). **História, pensamento e ação**. São Cristovão: Editora da UFSE, 2006.

SILVA, I. L. D. **O ideal do Belo como princípio, meio e fim do ensino e aprendizagem da física**. São Paulo: USP, 2010. (Dissertação de Mestrado) Orientador: João Zanetic.

SOUZA, S. J. E. **Infância e linguagem: Bakhtin, Vygotsky e Benjamin**. Campinas: Papirus, 1994. Coleção Magistério: Formação e Trabalho Pedagógico.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. 4.6 Medidas de pressão atmosférica. **4.6 Medidas de pressão atmosférica**. Disponível em: <<https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap4/cap4-6.html>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Bennet's doubler, 03 abr. 2000. Disponível em: <<http://www.coe.ufrj.br/~acmq/bennet.html>>.

VIGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução de Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes, 2000. 496 p. Coleção Psicologia e Pedagogia.

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

WHITROW, G. J. **O tempo na história: concepções sobre o tempo da pré-história aos nossos dias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1993.

WHITTAKER, S. E. **A History of the Theories of Aether and Electricity: The classical theories**. London Edinburgh Paris Melbourne Toronto and New York: Thomas Nelson and Sons, 1951. ed. rev. e aum.

WITTGENSTEIN, L. **Investigações filosóficas**. Tradução de Marcos G. Montagnoli. 6ª. ed. Petrópolis: Vozes, 2009. 350 p. (Coleção Pensamento Humano).

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. São Paulo: FEUSP, 1989. Tese de Doutorado.

ZHMUD, L. **The Origin of the History of Science in Classical Antiquity**. Berlin New York: Walter de Gruyter, 2006.

ZILIO, D. Fisicalismo na filosofia da mente: definição, estratégias e problemas. **Ciências & Cognição**, v. 15, abril 2010.

ZILSEL, E. As raízes sociais da ciência. **Khronos, Revista de História da Ciência**, , 2018. 113-116. Disponível em: <<http://revistas.usp.br/khronos>>. Acesso em: 17 abril 2020. Tradução de Flávio M. P. Santos.

**ANEXOS**

---



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA -**  
**MNPEF**

**FERNANDO ALVES DE ANDRADE**

**UMA ESTRATÉGIA DIDÁTICA INCORPORANDO ELEMENTOS DE**  
**HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA A PARTIR DOS PROCESSOS DE**  
**ELETRIZAÇÃO**

**TERESINA**



**2021**

**FERNANDO ALVES DE ANDRADE**

**UMA ESTRATÉGIA DIDÁTICA INCORPORANDO ELEMENTOS DE  
HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA A PARTIR DOS PROCESSOS DE  
ELETRIZAÇÃO**

Produto Educacional apresentado à  
Coordenação do Curso de Mestrado Profissional em  
Ensino de Física - Polo 26, da Universidade Federal  
do Piauí como requisito parcial para obtenção do grau  
de Mestre em Ensino de Física.

**TERESINA**

**2021**

## **RESUMO**

A presente estratégia didática incorpora elementos de História e Filosofia da Ciência a partir dos Processos de Eletrização como uma possibilidade de enfrentamento de algumas contradições da modernidade no contexto educacional. Atentamos para uma proposta de explicação de conjunto a partir da mediação dos sujeitos históricos com os instrumentos materiais criados para se estudar os fenômenos elétricos como uma das condições necessárias para as alterações nas estruturas mentais desses sujeitos, o que permitiu a consolidação da teoria da eletricidade nos moldes como a conhecemos hoje. Assim, as narrativas históricas da estratégia pretendem evitar algumas construções textuais típicas das narrativas recorrentes em História e Filosofia da Ciência que historicamente tiveram forte influência do Operacionalismo, da Lógica Formal, do Positivismo e do Neopositivismo. Também discute as especificidades e as nuances da elaboração da ideia de processos de eletrização enfatizando as alterações nas estruturas mentais dos sujeitos históricos quando da interação social com instrumentos criados com a finalidade mediadora do que era tido como realidade com as concepções subjetivas acerca dessa realidade, enfatizando o papel mediador dos dispositivos conhecidos como máquina elétrica, Garrafa de Leyden e pilha voltaica.

## SUMÁRIO

---

<b>Introdução .....</b>	<b>15</b>
<b>1 As avaliações a partir de questionários abertos e a atividade livre inicial .....</b>	<b>27</b>
<b>2 Apreciação Crítica do Documentário .....</b>	<b>29</b>
<b>3 Os textos históricos, as características e os objetivos dos questionários abertos .....</b>	<b>33</b>
<b>4 As atividades experimentais: .....</b>	<b>37</b>
<b>5 A auto avaliação e a síntese integradora: .....</b>	<b>39</b>
<b>Questionário Inicial .....</b>	<b>43</b>
<b>Roteiro para a análise do documentário.....</b>	<b>47</b>
Leitura geral	47
Leitura interna	47
Primeira leitura ideológica	48
Segunda leitura ideológica	49
<b>Texto 1: Dos fenômenos aos registros escritos: a domesticação de um olhar pelas tentativas de explicação.....</b>	<b>50</b>
Questões referentes ao Texto 01	54
Chaves comparativas de repostas referentes às questões do Texto 1	55
<b>Texto 2: Dos primeiros dispositivos materiais à máquina elétrica .....</b>	<b>58</b>
Questões referentes ao Texto 02	67
Chaves comparativas de repostas referentes às questões do Texto 2	68
<b>Texto 3: Da máquina elétrica à Garrafa de Leyden: o modelo da eletricidade como um fluido .....</b>	<b>71</b>

Questões referentes ao Texto 03	77
Chaves comparativas de repostas referentes às questões do Texto 3	79
<b>Texto 4: Da Garrafa de Leyden à pilha voltaica: uma teoria constituída sem uma fundamentação em princípios gerais .....</b>	<b>84</b>
Questões referentes ao Texto 04	100
Chaves comparativas de repostas referentes às questões do Texto 4	102
<b>Momento De Execução da Atividade Experimental.....</b>	<b>107</b>
<b>Síntese Integradora E Auto Avaliação.....</b>	<b>108</b>
Síntese Integradora	108
Autoavaliação	108
<b>Bibliografia para o professor.....</b>	<b>110</b>

## Introdução

---

O presente documento estabelece as diretrizes, o planejamento e descrição das ações contidas na proposta de estratégia didática que incorpora elementos de história e filosofia da ciência a partir dos processos de eletrização. Essa estratégia foi efetivada no quarto período letivo do ano de 2019, em 12 aulas, do dia 12 de novembro ao dia 03 de dezembro, em uma turma de 3ª Série do Ensino Médio, no turno manhã, na Escola Militar Tiradentes V, no município de Timon, Maranhão.

É de ampla aceitação que devido a seu objeto de investigação a Física, antes de tudo é uma ciência natural, mas ao adotar o conceito de teoria física e das dimensões da Física aqui abordados, podemos aceitar além de seu caráter natural, que a Física também possui elementos de ciências humanas e de outros campos do saber; sendo, pois, uma ciência predominante, mas não exclusivamente natural.

No que se refere ao Ensino de Física a situação se passa de modo bem mais complexo, pois se de um lado é preciso problematizar a Física como uma ciência natural inserida no contexto amplo da cultura contemporânea, com o seu rigor lógico, com sua linguagem matemática e com todas as suas facetas epistemológicas; por outro lado essa prática só tem significados e sentidos quando não se perde o seu objetivo primordial que é a afirmação do humano como sujeito capaz de conhecer. Dessa forma, o Ensino de Física é paradoxalmente uma ciência natural, por conteúdo, e humana, por seus métodos e técnicas de abordagem desse conteúdo e por acontecer em grupos humanos inseridos em contextos espaço-temporais específicos.

Encarado o Ensino de Física a partir dessa concepção, abrimos às práticas a uma gama infinita possibilidades de abordagens sem, contudo, perder de vista o rigor desse saber, o que exige também um outro nível de sensibilidade do profissional para incorporar essas linguagens sem perder a especificidade de seu objeto. Assim, os temas em Física passam a ser encarados como oportunidades de problematizar a própria Física como uma elaboração social delimitada no espaço e no tempo, isso pode ser efetivado incorporando nos próprios temas elementos de História e Filosofia da Física, realizando operações de análises conceituais históricas atreladas ao próprio enriquecimento material das teorias.

Precisamos fazer isso em detrimento de apresentar leis e exemplos dessas leis como invariantes espaciais e temporais que estão ali e sempre estarão à espreita de um sujeito cognoscente. Pensando desse modo o conteúdo perde o seu status terminal e assume uma posição, assim como o professor, de mediador entre a Física e o aluno, vez

que a Física não se caracteriza somente pelos seus conteúdos, suas leis, suas experiências, antes é uma totalidade, uma síntese integradora de saberes acerca natureza, onde devido a ser uma ação antrópica é repleta de contradições.

Ensino de Física é uma batalha diária de tentativa de modificação de estruturas mentais de longa duração, por isso o trabalho educativo deve ser meditado, minuciosamente planejado e mesmo assim teremos resultados de pouco impacto, devido a infinitesimal velocidade do movimento dessas estruturas de longa duração, que são extremamente lentas, o que pode ser interpretado com o uma ineficácia da ação por não termos instrumentos adequados para medir o impacto das ações educativas nessas estruturas. Ensino de Física é questionamento, é desestabilizar o sujeito, provocar, instigar a responder, a inquirir a qualidade da sua resposta e pensar na contramão, voltar para a mão, é lidar com o sonho, com a realidade, com abstração, com a comparação, com a analogia, com a alegoria, é encarar as possibilidades que não são as que estão como as regras do jogo da vida da reprodução da existência material, é afirmar a singularidade do sujeito capaz de conhecer.

Sabemos que todo processo de compreensão é uma mediação entre dois pensamentos conflitantes. O aprendizado pode ser interpretado como um diálogo entre a expectativa do observador e a ideia criada ou defendida pela comunidade científica; é como a apreciação estética de uma obra de arte (GAMA: 2006). A ciência é inacabada, completada, finalizada pelo olhar de quem apreende (SILVA: 2010). Por isso mesmo precisamos atentar para o campo semântico no qual gravita as ideias relacionadas ao Ensino de Física. O principal desafio para o Ensino de Física não é só proporcionar ao sujeito possibilidades de perceber como a Física está inserida no seu cotidiano, mas também possibilidades de perceber como a Física é uma estrutura indissociável do mundo contemporâneo e como as relações de poder jogam com esse ramo do conhecimento. Para reorientar a prática docente no Ensino de Física precisamos diversificar as linguagens passíveis de preencher o espaço da sala de aula precisamos ter em mente que por mais que alguma categoria ou conceito seja óbvia para nós professores, por mais que um conceito ou uma definição seja evidente, os alunos não possuem a mesma experiência e nem a mesma maturidade linguística que os professores, há a assimetria linguística. O professor atua, no sentido cênico, interpretando o saber, sempre reelaborando o jogo entre expectativa e clímax visando sempre que a finalidade do Ensino de Física é o intenso agora, o momento da ação (MITROVITCH, 2007), da compreensão, da afirmação positiva

da singularidade do humano. Assim o ato de saber ganha matizes estéticos, vez que é fonte de prazer e de problematização do humano.

Quando um sujeito é posto diante de um problema ele se vê às voltas com ele mesmo e tenta de todos os modos possíveis e imagináveis a resolver o dito problema. Não raro, os sistemas educativos formais não valorizam essas tentativas, priorizando apenas a resposta correta, traduzida numa escolha entre cinco possibilidades, ou o método da resolução já consagrado pela comunidade científica. Ao resolver um dado problema o estudante lança mão de habilidades como criatividade, poder de invenção e combinação, imaginação, poder de iniciativa, entre outras, que põem essa atividade no campo semântico da arte, e que essas habilidades não são comumente utilizadas no Ensino e na Aprendizagem padronizadas pelos sistemas educativos formais.

É nesse cenário que pensamos o Ensino de Física pautado em elaborações históricas conscientes das dificuldades conceituais em história, em educação e em filosofia, onde propomos caminhos possíveis para a superação das contradições e de alguns problemas epistemológicos

Nos nossos textos enfrentamos o desafio das palavras como índices de ideias, isto é, embora elas não representem a ideia, fornecem pistas de como o narrador articula suas ideias. Assim tomamos o cuidado de não usar terminologias tão caras à historiografia da ciência tais como *descoberta*, *invenção*, os nomes próprios extremamente adjetivados e carregados de uma solidão e um pioneirismo na pesquisa. Também o cuidado com as palavras no sentido de evitar o anacronismo como por exemplo adjetivar de físico um pensador da antiguidade, medieval, renascentista, moderno, vez que temos consciência que a divisão do conhecimento nos moldes como conhecemos na atualidade é um fenômeno relativamente recente, datando do final do século XIX para o início do século XX.

Outro cuidado com as palavras que observamos ao longo da construção de nossos textos foi o de não referenciar fenômenos observados, documentados e explorados no passado sob a égide dos conhecimentos socialmente validados na contemporaneidade. Assim, acreditamos que é um erro historiográfico, um anacronismo afirmar que Tales de Mileto já observava os processos de eletrização na Antiguidade, ou mesmo que assim o fazia outro filósofo natural ou experimental da modernidade tal com Du Fay ou mesmo Franklin. Ao invés de processos de eletrização, optamos pela expressão de atração ou repulsão de corpos quando atritados, apresentando algumas pequenas variações de acordo com o contexto em questão.



Na pretensão de uma história capaz de superar as dicotomias entre a perspectiva internalista e externalista, temos como referencial de trabalho uma história pautada na duração, nas mudanças e permanências de elementos sejam eles teóricos ou materiais, fazemos isso com o desejo de integrar num todo em movimento – sendo que o desafio é apreender o ritmo e a velocidade desse movimento – tanto no que se refere aos mecanismos e na dinâmica das ideias que patrocinaram a elaboração da teoria dos processos de eletrização quanto nos aspectos humanos e sociológicos dos espaços e dos tempos nos quais os ingredientes dessa teoria foram gestados.

A narrativa historiográfica aqui construída está concentrada principalmente nos séculos XVI, XVII e XVIII, com algumas dilatações temporais tanto regressivamente quanto progressivamente com o intuito de recuperar elementos importantes de temporalidades não pertencentes a esses séculos e que são cruciais para a compreensão da narrativa<sup>64</sup>.

O tempo de elaboração de algumas ideias em eletricidade é o mesmo tempo da transição entre a forma de conhecer característica das sociedades antigas e a nova proposta de conhecimento que marca o espaço ocidental de um tempo que vai do século XV ao século X, sendo que a teoria da eletricidade é filha do Esclarecimento (**Aufklärung**), tanto no espaço quanto no tempo. Enquanto o conhecimento antigo encarava a natureza como um organismo vivo com o qual o sujeito conhecedor interagia buscando a harmonia, a contemplação, o entendimento mais que o domínio, o conhecimento moderno foi gradativamente se constituindo a partir de uma nova espiritualidade, de uma mudança radical na postura filosófica em relação a natureza, vista agora como um sistema mecânico, desprovido de caráter divino, houve assim uma dessacralização da natureza.

Temos então duas formas diferentes de pensar que culminam em duas formas diferentes de agir no intuito de conhecer, respostas diferentes a preocupações diferentes em relação a um mesmo objeto, a natureza. Assim o conhecimento antigo e o conhecimento moderno diferem quanto aos métodos, à concepção de saber, concepção de natureza (BELTRAN, 2014).

---

<sup>64</sup> Nessa periodização e principalmente no século XVII temos o estabelecimento das bases do que viera posteriormente a ser chamado de método científico: um conjunto de regras mais ou menos estáveis orientadoras da atividade capaz de produzir um conhecimento pretensamente válido. A história dos processos de eletrização de certo modo é também uma face da história da constituição de um método científico ambicionado como um padrão a ser seguido.

O conhecimento científico positivista pautado na atividade experimental controlada, na linguagem matemática pretensamente objetiva e aparentemente distante tanto dos elementos religiosos quanto dos elementos filosóficos se constitui num processo de longa ou média duração e possui suas características delineadas somente no final do século XIX.

O professor de Física, vez ou outra, é confrontado na sua prática docente com diversos questionamentos tais como: Como Ensinar Física? Que escolhas teóricas ou metodológicas devemos fazer frente a um dado conteúdo a ser abordado em sala de aula? Que orientação devemos dar a nossas atividades: concentrar esforços em práticas experimentais ou no formalismo matemático referente a um modelo teórico explicativo de um fenômeno físico? Quais os limites e as possibilidades do pensamento analógico como ferramenta didática em Ensino de Física?

Toda e qualquer atividade em Ensino de Física, na prática experimental ou na pesquisa aplicada em Física Teórica, possui uma fundamentação epistemológica, consciente ou não, que a norteia. O desafio intelectual que é posto para o físico na atualidade é a proposição de uma filosofia da Física consistente que consiga abarcar como uma totalidade esses três ramos distintos do conhecimento físico. Caso o físico deseje uma solução plausível para tal problema, não pode esperar que outro profissional se ocupe do problema, não pode alienar-se, esquivar-se do problema, renegá-lo, postergá-lo. Antes deve aceitar a existência do problema, discuti-lo abertamente, aceitar a colaboração de outros especialistas como matemáticos, lógicos, epistemólogos, filósofos. A proposição de uma Filosofia é uma tarefa grandiosa e não pode ser levada a cabo de modo unilateral.

Como primeiro passo nessa empreitada podemos começar analisando como as teorias físicas se apresentam hoje nos manuais de ensino, nos textos base, nos currículos escolares e universitários e em seguida analisar como ocorreram as elaborações históricas de tais teorias. Essa tarefa relativamente simples exporia a nu diversas inconsistências teóricas e alguns erros semânticos, lógicos, epistemológicos e sintáticos que ainda hoje reverberam em teorias físicas pretensamente completas e acabadas.

Em diversos manuais de ensino tanto de nível básico universitário quanto nos voltados para a Educação Básica é comum iniciar o estudo da teoria eletromagnética a partir da eletrostática, mais precisamente pelos processos de eletrização: eletrização por atrito, eletrização por contato e eletrização por indução, apelando para o caráter empírico e fenomenológico desse saber.

O que causa impacto imediato é a referência aos gregos como os primeiros estudiosos que se ocuparam da eletricidade, indicando que o termo elétron possui origem grega e é devido ao âmbar, uma espécie de resina vegetal que apresenta propriedades elétricas quando sofre algum processo de atritamento superficial. Em seguida é apresentado o conceito de carga elétrica como sendo uma propriedade fundamental da matéria, os princípios fundamentais da eletricidade (Princípio da Conservação da Cargas Elétricas, Princípio da Atração/Repulsão da Cargas Elétricas) e a quantização da carga elétrica.

No geral esses procedimentos são realizados na primeira ou segunda aula do curso de modo mais ou menos espontâneo e operacional. Mas o que esse procedimento deixa implícito é que o conceito de eletricidade dos gregos não possui qualquer diferença do conceito de eletricidade aceito na contemporaneidade, de modo que induz a pensar que os temas abordados no presente da sala de aula já eram conhecidos na Antiguidade. Dessa forma incorre-se em um anacronismo bidirecional e no esvaziamento das possibilidades de problematizações epistemológicas além de se apresentar uma imagem da Física como um saber estático.

O anacronismo bidirecional ocorre por aproximar os relativamente distantes e por distanciar os relativamente próximos. Ao usar o termo eletricidade tanto no contexto da Antiguidade Clássica como no contexto da teoria da eletricidade válida na contemporaneidade aproximamos por indistinção duas ideias muito distantes no tempo e radicalmente diferentes, pois o que era compreendido como eletricidade pelos gregos pouco ou nada tem a ver com o que hoje entendemos como eletricidade, assim é preciso admitir a historicidade do termo eletricidade. O significante pode ser o mesmo, mas o significado com certeza não, as palavras também possuem história.

Ao apresentar a ideia de quantização da carga elétrica justaposta com o Princípio da Atração/Repulsão das cargas elétricas e mesmo a ideia de carga elétrica ao lado com o Processo de Eletrização por Atrito, incorre-se mais uma vez em um anacronismo uma vez que o fenômeno de atração de corpos leves quando atritados fazia sentido na cosmologia grega antiga, mas os demais saberes não existiam. Por distanciar no tempo as ideias de elétron, de carga elétrica e de quantização de carga elétrica, que são conhecimentos consolidados principalmente no início do século XX, associando-os ao universo grego também incorremos em um anacronismo, só que agora no sentido inverso do primeiro, distanciamos temporalmente o relativamente próximo.

Ao justapor de modo a histórico a eletricidade grega com a ideia contemporânea de elétron silenciámos ou escamoteámos o processo, o movimento de constituição do saber e apresentamos uma Física que embora nova, é interpretada como velha, caduca e sem conexão com a vida. Ora da concepção grega de eletricidade até à suposição da existência do elétron como sendo uma partícula material dotada de propriedades físicas como massa e carga elétrica, temos um grande intervalo de tempo, uma longa duração, caracterizando principalmente pela ação antrópica no sentido de elaborar modelos teóricos explicativos acerca diversos fenômenos naturais até então observados mas carentes de explicações logicamente encadeadas, coerentes e que apresentasse algum poder preditivo.

Perseguir o movimento de constituição da teoria da eletricidade nos moldes como a compreendemos hoje é antes de tudo buscar compreender o movimento de constituição da própria Física como ciência moderna, é perceber o quão é árduo o ato do conhecimento, quais elementos condicionam, integram, limitam, possibilitam esse ato. Percorrer essa trilha intelectual nos coloca vez ou outra de frente com os monstros, os fantasmas, os problemas epistemológicos que maculam o modo como a teoria é apresentada. Trilhar por esse caminho pode fornecer ferramentas para a superação do modo como o conhecimento é partilhado, é abrir o conhecimento físico para interpretações e valorações estéticas, é inserir o humano no seu ato fundante de saber.

Quando tratamos de eletrização por atrito, eletrização por contato e eletrização por indução, nessa ordem e em uma mesma página, também negamos o movimento, negamos o longo processo de maturação do psiquismo dos sujeitos que se ocuparam com tais problemas. Pela história, sabemos que os movimentos de corpos leves quando atritado era uma realidade observada em um tempo que se perde na cronologia, impossível de ser datado, mas os outros fenômenos embora sempre existentes, embora observados não eram dignos de registro ou de esforços no sentido de compreendê-los seja pela teoria da eletricidade seja por quaisquer outros modelos explicativos; de modo que o movimento de corpos leves quando postos em contato só foi inserido no bojo da eletricidade somente depois do século XVI, mais recente ainda foi a problematização da indução.

O estudo histórico dos processos de eletrização, além de concentrar esforços nas minúcias e nos detalhes desprezados pelas formas padronizadas de se apresentar esse saber, também propõe uma dinâmica radicalmente inédita, vez que se antes os processos de eletrização são apresentados na unidade relacionada a fenômenos de equilíbrio eletrostático agora podem ser apresentados na perseguição da constituição da ideia de

elétron, como sendo o elemento basilar da teoria eletromagnética. Assim, extrapola o modo estanque de apresentação, evidenciando uma Física repleta de vida e de movimento.

No modo como os processos de eletrização são apresentados, faz-se referências a procedimentos experimentais, pelo menos no âmbito teórico e da abstração, de transferir ou induzir cargas elétricas de um corpo para o outro. Porém, gasta-se pouco tempo problematizando o próprio fundamento da teoria da eletricidade que é a noção de carga elétrica. Agir desse modo é de certa forma reproduzir os passos epistemológicos de constituição dessa teoria, que teve grande avanço semi fenomenológico, principalmente a partir do século XVI, sendo que seus fundamentos somente foram estabelecidos no início do século XX com o experimento de Milikan e a proposição da Mecânica Quântica.

Ao optar pela abordagem de média duração, do século XVII ao XX, perseguimos não só o delineamento dos processos de eletrização, mas também diversos ramos da eletrodinâmica como os efeitos térmico, químico, fisiológico, luminoso e magnético da corrente elétrica. Problematizamos também o processo de incorporação dos fenômenos atmosféricos do raio relâmpago e do trovão à teoria da eletricidade, perseguimos os desdobramentos que desembocaram na lei da força eletrostática, resgatamos os processos analógicos de produção do saber em eletricidade a partir da dinâmica dos fluidos sutis e mecânicos e da analogia mecânica-eletricidade no contexto da lei do inverso do quadrado da distância.

Assim, por falta de um termo melhor para se referir aos constructos históricos aqui elaborados usamos o termo processos de eletrização, mas acabamos por fazer uma reconstituição panorâmica do movimento de consolidação da teoria da eletricidade desde as suas ideias mais elementares até a consolidação da ideia de elétron, fornecendo uma imagem geral dos problemas práticos e teóricos enfrentados nessa empreitada, as soluções originais, as soluções analógicas e a relação do saber produzido com o tempo e o espaço de sua produção

No recorte de média duração, do século XVII ao XX, já temos uma gama infinita de problemas epistemológicos que podem ser explorados no sentido de proporcionar um quadro geral e amplo do que de fato é a Física, ou de como ela se constituiu. Vale lembrar que até o final do século XIX a Física como a conhecemos hoje não existia, de modo que fazer referência a saberes do passado ou sujeitos que se ocuparam de estudos de teorias que hoje são físicas usando o termo física ou físico é no mínimo um outro anacronismo.

Os processos de longa duração e de média duração imbricados na constituição da teoria da eletricidade por si só negam diversas concepções filosóficas acerca da Física,

principalmente o idealismo platônico, favorecendo a compreensão realista e material da Física. Tanto no Ensino de Física quanto na constituição de diversas teorias físicas diversos elementos de longa e média duração estão presentes, sendo que o problema da apreensão ou não da duração das permanências de certos saberes em Física em detrimento de outros conhecimentos pode se configurar como um problema epistemológico com profundas consequências para as relações de ensino e aprendizagem.

A longa duração se manifesta no Ensino de Física quando por exemplo ao se trabalhar com gravitação universal e sem preparar a pergunta, inquirir abertamente um aluno acerca da queda dos corpos, este, mesmo tendo estudado exaustivamente o tema, poderá afirmar que o corpo mais massivo desenvolverá um movimento com maior velocidade. Esse é apenas um caso de vários, sem contar na propagação das convenções e erros que ainda hoje reverberam em Física como o sentido real e convencional da corrente elétrica ou o mal-estar do tempo no Sistema Internacional de Medidas e Unidades. Percebemos que os alunos compreendem de modo racional, mas não se apropriam desse saber sem antes muito relutar consigo mesmo, pois aprender é antes de tudo uma atividade afetiva e emocional.

Outro grande mal-estar pode ser evidenciado quando estamos operando com os conhecimentos basilares da mecânica. Percebemos uma grande dificuldade de problematização dos conceitos de espaço e tempo e a mais que apressada apresentação da definição de velocidade média. Essa inabilidade é percebida até mesmo em Isaac Newton que delega a responsabilidade do espaço e tempo absolutos a Deus. O homem contemporâneo, assim como Santo Agostinho, sabe o que é o tempo quando se propõe a pensar sobre o tempo, mas não sabe o que o tempo é quando é questionado sobre a existência do tempo. É um aprendizado que decorre da experiência humana compartilhada na cultura, é a vivência da experiência do espaço e de tempo que vai constituir a ideia que temos sobre esses termos. As noções de espaço e tempo acompanham o homem desde a sua aurora, mas também esses termos possuem sua historicidade, o próprio tempo é vítima atroz de sua temporalidade.

Para auxiliar nessa compreensão adotaremos como pressuposto que os conceitos e as teorias são constituídos e modificados pela interação do sujeito com os instrumentos e elementos materiais que integram uma dada realidade na qual o sujeito está inserido. Nesse contexto os instrumentos medeiam a interação do sujeito com suas estruturas mentais, modificando-as e desenvolvendo o psiquismo que por sua vez, em um movimento dialético retorna novamente para o universo material dos instrumentos, como

gatilhos para novas mediações, qualitativamente diferentes das iniciais, em um loop de aceleração das pesquisas e estudos em eletricidade.

Para superar as perspectivas internalistas e externalistas, que apresentam leituras de realidade histórica de modo fragmentado, admitimos como pressuposto que mudanças históricas na sociedade e na vida material produzem mudança no universo humano, afetando tanto o comportamento quanto a consciência do sujeito histórico<sup>65</sup>, de modo que há uma estreita correlação entre a vida material e a questões psicológicas concretas (VYGOTSKY, 2000).

Um ponto central do método materialista dialético é que todos os fenômenos são percebidos como processos em movimento e em mudança. Todo fenômeno tem sua história, caracterizada por mudanças quantitativas e mudanças qualitativas, isto é, mudanças tanto na forma quanto na estrutura e nas suas características básicas.

Nesse sentido, como condição ontológica, pelo trabalho, a ação humana pode transformar a natureza, forjando materialmente a sociedade e consolidando o ser. Ao agir o ser atinge um objetivo que antes de ser efetivado fora projetado na consciência, o sujeito mentaliza o seu resultado antes de agir. Com essa capacidade de idear antes de objetivar o ser cria diversas possibilidades de ação e ao escolher algumas possibilidades em detrimento de outras, cria algo radicalmente novo, modifica a natureza sem a destruir e modifica a si mesmo, amadurece seu psiquismo, reorienta suas práticas, produz instrumentos e ferramentas com os quais retorna novamente para a natureza fomentando novas objetivações<sup>66</sup> (LESSA, 2011). Assim, o uso de instrumentos é um meio pelo qual o homem transforma a natureza e, ao fazê-lo, transforma também a si mesmo (VYGOTSKY, 2000)

O processo de objetivação, a transformação da natureza pelo trabalho, fundamento do ser social, vez que o sujeito só existe em sociedade com a qual se relaciona

---

<sup>65</sup> Vygotsky explorou a fundo a ideia de que as atividades tecnológicas de uma população são a chave da compreensão do psiquismo dessa população.

<sup>66</sup> O resultado de processo de objetivação é, sempre alguma transformação da realidade. Toda objetivação produz uma nova situação, pois tanto a realidade já não é mais a mesma (em alguma coisa ela foi mudada) quanto também o indivíduo não é mais o mesmo, uma vez que ele aprendeu algo com aquela ação [...] ao construir o mundo objetivo, o indivíduo também se constrói (LESSA, 2011, p. 19).

e essa relação ocorre pelo trabalho<sup>67</sup>; é crucial para a compreensão da ideia de mediação<sup>68</sup>, ideia capital para a elaboração de nossa narrativa histórica.

Ao problematizar a constituição da teoria da eletricidade em sua dimensão temporal concentrando esforços nas formas como essa teoria foi materialmente enriquecida observamos que há uma estreita correlação entre os instrumentos materiais elaborados única e exclusivamente com o intuito de se pesquisar a teoria da eletricidade e os conhecimentos que foram constituídos a partir da interação com esses instrumentos. Do perpendicular à balança de torção elétrica, há uma grande quantidade de instrumentos materiais voltados para o estudo da eletricidade criados e gradativamente aperfeiçoados até culminar com a elaboração de instrumentos dotados de escalas de medição, o que possibilitou a matematização da teoria. O estabelecimento dessas relações matemáticas precisas em eletricidade impulsionou o desenvolvimento de teorias matematizadas, quantitativas da eletricidade e do magnetismo em detrimento dos conhecimentos experimental e descritivo característicos dos séculos XVII e XVIII. No século XIX, houve a ousadia de se buscar explicações mais abstratas dos fenômenos ora em tela, tendo como elemento balizador e fonte de inspiração a mecânica newtoniana, a partir da qual foram estabelecidas certas analogias tanto teóricas quanto experimentais. Nesse contexto a teoria dos fluidos foi de grande utilidade para a construção de uma teoria eletromagnética não só consistente quanto à explicação fenomenológica e operacionalista como também coerente com o conhecimento da filosofia natural socialmente aceito.

Outro ponto que merece destaque é que os textos de história da eletricidade enfatizam a exaustão da experimentação, mas não problematizam as possibilidades e as limitações desses experimentos de modo que podem induzir o leitor a ter como sinônimas a ideia de experimento contemporânea com a ideia de experimento moderna. Ora o experimento moderno de muito difere do experimento contemporâneo, a começar pelo seu

---

<sup>67</sup> O trabalho é a categoria fundante do universo humano, pelo trabalho são produzidas as bases materiais da existência e as condições de transformação da natureza.

<sup>68</sup> [...]Vygotsky estendeu o conceito de mediação na interação homem-ambiente pelo uso de instrumentos, ao uso de signos. Os sistemas de signos (a linguagem, a escrita, o sistema de números), assim como o sistema de instrumentos, são criados pelas sociedades ao longo do curso da história humana e mudam a forma social e o nível de seu desenvolvimento cultural. Vygotsky acreditava que a internalização dos sistemas de signos produzidos culturalmente provoca transformações comportamentais e estabelece um elo de ligação entre as formas iniciais e tardias do desenvolvimento individual. (VYGOTSKY, 2000, p. 7)



c caráter qualitativo, principalmente nos séculos XVI, XVII e XVIII e pela escassez do tão rigor metodológico característico da experimentação contemporânea

Ao nos debruçar sobre a história da teoria da eletricidade também observamos que não existe um todo coeso capaz de ser denominado História da Física, mas sim um conjunto de saberes mais ou menos dispersos, cada um seguindo um caminho próprio, apresentando especificidades e problemas epistemológicos específicos, de modo que cada teoria que hoje compõe a Física apresenta trajetórias temporais únicas, cada teoria possui uma história que é irreduzível. Assim a história da Cinemática não se confunde com a história da Dinâmica, que não se confunde com a história da Gravitação Universal e assim sucessivamente

Como uma forma de incorporar, nos processos avaliativos, os elementos problematizados ao longo desses três primeiros capítulos, propomos provocar tanto os alunos como os professores a trabalharem com produções textuais acerca do que está sendo trabalhado em sala, como sínteses integradoras e como tradução para nós mesmo do que estamos pensando sobre o dito trabalho. Produzir textos é se projetar violentamente no papel, é criar, é afirmar a humanidade singular de quem escreve, é existir, é materializar índices de ideias, é fornecer pistas de como estão funcionando as estruturas mentais e internas (JOBIM E SOUZA: 1994). Assim temos um rico material para nos debruçarmos e repensamos o Ensino de Física.

## 1 As avaliações a partir de questionários abertos e a atividade livre inicial

---

Como instrumento avaliativo usamos questionários abertos, compostas por um número considerável de questões apresentadas por escrito

Essa técnica além de além de ser adequada às condições de aplicação das atividades avaliativas propostas em sala de aula, ao fazer uso de questões abertas, ou duplas<sup>69</sup>, com uma parte fechada e outra aberta, permite a afirmação do sujeito participante pela sua expressão (GIL, 2002) e é uma forma alternativa de atividade avaliativa capaz de superar as avaliações operacionais quantitativas em Ensino de Física. Assim, os questionários abertos são consoantes com os pressupostos educacionais admitidos pela pesquisa e com a proposta de problematização de textos históricos em sala de aula.

Considerando que a Escola Militar Tiradentes V encara o desafio de ser uma das melhores escolas públicas de Timon, entendemos que algumas limitações intrínsecas à técnica de questionários sejam minimizadas como por exemplo a exclusão de pessoas analfabetas ou deformações nas respostas devidas a falta de entendimento, pois os sujeitos da pesquisa são discentes da última série da Educação Básica, estão finalizando um ciclo formativo extremamente importante. Também os questionários foram destinados para as atividades em sala de aula, em condições espaciais extremamente favoráveis.

Recomenda-se que questionários voltados exclusivamente para as finalidades de pesquisas contenham perguntas elaboradas de modo claro e preciso, que induza a uma única interpretação e que possam ser respondidas sem dificuldades, sempre ponderando o nível de informação do interrogado e seu sistema de referência, problematizando uma ideia por vez. Também é recomendado, evitar perguntas diretas que incluem o sujeito na pergunta em geral, vez que estas tentem ser respondidas em atitude de fuga (GIL, 1987).

Compreendemos que tais recomendações visam otimizar o processo analítico, contudo entram em flagrante contradição com os pressupostos educacionais aqui admitidos e mesmo com as orientações normativas voltadas para o Ensino Médio, que defendem a contextualização das perguntas e a obtenção processual das respostas. Além disso, os questionários abertos possibilitam uma gama variada de possibilidades de respostas, e é a partir dessas respostas abertas que é possível perseguir os significados e os sentidos elaborados pelos sujeitos em relação às estratégias aqui empregadas.

---

<sup>69</sup> Perguntas duplas: Parte fechada e parte aberta. Em geral pergunta-se algo cuja resposta é sim ou não, seguida da pergunta “Por quê?”.

Além disso, as atividades propostas fizeram parte da composição da nota quantitativa do quarto bimestre, atendendo a todas as exigências metodológicas e pedagógicas exigidas pelo Colégio Militar Tiradentes V.

Como a estratégia didática foi efetivada somente no quarto bimestre, imediatamente após a realização das provas do Exame Nacional do Ensino Médio - ENEM, isto é, com cerca de 90% dos conteúdos do currículo de Física já integralizados, a atividade livre inicial consistiu em um questionário aberto de 05 (cinco) questões com o objetivo de explicitar as compreensões dos discentes no que diz respeito ao princípio de conservação da carga elétrica, imbricado na conservação da corrente elétrica, e ao princípio da conservação da energia potencial elétrica. Em seguida os alunos foram provocados a se colocarem em situações cotidianas nos quais ocorrem fenômenos observáveis específicos capazes de serem problematizados a partir dos princípios fundamentais da teoria da eletricidade.

As questões foram elaboradas e utilizadas por tratar de conceitos e ideias em Física extremamente complexas de alto poder sintético, que beira ao indizível na Física, faz parte de uma concepção de mundo, de um pressuposto metafísico, que são as leis e princípios de conservação e de simetrias que supostamente a natureza manifesta e que tomamos como algo dado e implícito no Ensino Médio.

Essas questões também podem ser utilizadas com indicador da eficácia do ensino operacionalista, excessivamente matematizado voltado para os exames admissionais em faculdades e universidades que pressionam o cotidiano escolar, exigindo tanto dos professores como dos alunos comportamentos específicos frente ao conhecimento. Assim essas questões podem ser interpretadas como indicativo de aprendizagem dos conceitos já abordados ao longo do ano letivo e que precisam ser ativados para solucionar as situações problemas. Também elas podem fornecer indicativos do amadurecimento linguístico do aluno, de sua capacidade de se fazer entender pela escrita.

Embora a atividade inicial tenha importância capital para a elaboração dos textos históricos e para a eficácia da pesquisa, segundo os motivos acima elencados; por ser uma atividade livre, não foram elencadas categorias analíticas precisas, sendo que os indicadores utilizados foram a capacidade de expressão e de ativação dos saberes que supostamente o aluno possui.

## 2Apreciação Crítica do Documentário

---

O documentário pode ser exibido integralmente em sala de aula imediatamente após a realização da atividade livre inicial, com o objetivo de proporcionar aos alunos a apreciação crítica do documentário produzido pela British Broadcasting Corporation (Corporação Britânica de Radiodifusão BBC), intitulado **A História da Eletricidade – Choque e Temor: A Faísca - Episódio 01**, de modo que posteriormente eles sejam capazes de confrontar os pressupostos filosóficos e históricos que permeiam a produção com os pressupostos intrínsecos à estratégia didática objeto do presente trabalho.

O referido documentário é uma produção inglesa, de caráter histórico que apresenta narrativas como uma espécie de epopeia rumo ao conhecimento verdadeiro, levada a cabo por gênios solitários. Apresenta uma concepção de tempo linear associado ao tempo cronológico, com uma relativa valorização dos pesquisadores ingleses em detrimento dos pesquisadores de outras nacionalidades. O documentário tem como cenários paisagens estáticas, que destacam o narrador, fortalecendo o instituto do verdadeiro presente na sua fala. Também o documentário possui uma trilha sonora de suspense, convidando o espectador a se inserir na atmosfera de descoberta que o documentário propõe.

Presenciamos na contemporaneidade a consolidação de uma cultura visual da qual não podemos escapar. Nesse contexto, vez ou outra a escola é desafiada a interagir com as imagens, seja fotografias ou filmagens, nos mais diferentes meios e suportes. No caso do consumo ou apreciação imagética no contexto da sala de aula em Ensino de Física, é cada vez mais frequente e por isso é preciso problematizar o gosto, a sensibilidade, a postura de expectador e a postura epistemológica frente às imagens no sentido de buscar uma leitura da imagem segundo os objetivos da atividade desenvolvida, o que não ocorre na maioria das vezes.

Como poderoso instrumento de trabalho, em Ensino de Física é possível inserir tanto narrativas cinematográficas do campo ficcional quanto do campo não-ficcional, sendo que esta pode ser por exemplo documentários de naturezas diversas e aquelas podem ser do gênero ficção científica ou ainda de natureza diversa consoante com os objetivos e os temas que se pretenda trabalhar. É frequente o uso de produções audiovisuais no contexto pedagógico sem quaisquer problematizações acerca de suas especificidades e complexidades, apenas como dispositivo ilustrativo de uma dada temática problematizada em sala de aula.

Como um documentário histórico são em geral composições clássicas veiculadas por tvs a cabo, alternando formas como depoimentos/entrevistas e voz 'over' explicativa, imagens em movimento com o pretense objetivo de apresentar a verdade (RAMOS, 2002), nem sempre é o gênero fílmico apreciado ou experimentado pelos alunos, de modo que é preciso inseri-los na apreciação crítica da produção documental histórica. Tarefa extremamente difícil vez que é preciso compreender o filme como um discurso falado, escrito e imagético que possui diversas funções que não só o entretenimento. É preciso adentrar nas diversas camadas de sentidos e significados que o documentário histórico possibilita, ultrapassar a imagem e a fala que são apresentadas de modo imediato ao espectador.

No início da apresentação do documentário os alunos receberam um roteiro de apreciação crítica contendo diversos questionamentos capazes de guiar a atividade de apreciação. Esse roteiro, elaborado com questões abertas, inicia com perguntas acerca do gosto, da escolha e das preferências que os alunos no que diz respeito a produções audiovisuais. Assim o primeiro passo da atividade é o aluno explicitar suas preferências e que tipo de experiência desenvolvem como espectadores. Ao longo de toda a estratégia didática foi preciso atentar para necessidade de problematizar o que os alunos assistem, municiar o olhar, buscar inserir o áudio visual tanto no seu contexto de produção quanto no seu contexto de recepção.

Depois dessa primeira provocação, os alunos foram convidados a realizar apreciações críticas do documentário no que diz respeito aos seus aspectos gerais, seus aspectos internos e seus aspectos ideológicos, de modo que depois dessa apreciação crítica o aluno seja capaz de confrontar sozinho a narrativa do documentário com a narrativa da estratégia didática.

No que diz respeito aos aspectos gerais, os alunos são convidados a refletir sobre o caráter coletivo da produção, os seus custos elevados, sobre o conceito de filme, que profissionais estão envolvidos nessa empreitada e que tipo de produção predomina no mercado brasileiro. Essa reflexão tem o caráter de indicar que devido ao alto custo e complexidade da produção, esta não se resume somente à função de entreter, sendo que há diversos objetivos embutidos na produção, sendo, pois, necessário, identificar os objetivos explícitos e implícitos do documentário apreciado.

Na leitura interna do documentário o aluno concentra seus esforços na captação dos elementos internos da produção: os cenários, o figurino, os efeitos, a fotografia, os

enquadramentos, as tomadas, trilha sonora entre outros. Nesse ponto o aluno é desafiado a ler a produção audiovisual tal como faz leituras de textos escritos, sendo que no final dessa leitura o aluno é convidado a apresentar a ficha técnica da produção. Com essa atividade emergem tanto as especificidades que enquadram a produção no gênero documentário histórico, com mecanismos e linguagens própria, quanto o caráter pedagógico da produção audiovisual selecionada, vez que o aluno é provocado a relacionar as propostas do documentário com as propostas da estratégia didática.

A última seção do roteiro de apreciação crítica do documentário se concentra os aspectos ideológicos da produção, exigindo uma leitura desta para além de seus aspectos gerais e de seus elementos internos, compreendendo que por mais que se tenha uma proposta de evidenciar um fato histórico, não é a verdade histórica que está sendo ali representada, não é a realidade, mas uma reconstrução desta, fundada em linguagens próprias em contextos de produção e recepção específicos. Assim o aluno, como espectador ativo, não apenas recebe os sons e as imagens, mas os recria, produz diálogos com estes, nega a pretensão de verdadeiro do documentário ao identificar seus elementos ideológicos, os seus implícitos, seus elementos contraditórios, suas pretensões universalistas.

Após esses três procedimentos, pretende-se elucidar o documentário **A História da Eletricidade – Choque e Temor: A Faísca - Episódio 01**, identificando como ele se relaciona com a presente estratégia didática, desalienando os alunos dos elementos visuais, proporcionando interpretações mais profundas de modo a relacionar o problema do documentário com os problemas tratados em sala de aula. Com tal prática possibilitamos ao aluno um momento para que este inconscientemente organize, planeje, elabore conexões entre o que ocorre em sala e com as diversas atividades que se desdobram tanto no ambiente escolar como fora dele, sempre tendo na alça de mira um processo de ensino e aprendizagem, repleto de vínculos, de modo a ser prenhe tanto de significados quanto de sentidos.

O roteiro de apreciação crítica do documentário histórico deve ser entregue tão logo sejam explicado a dinâmica de implementação da estratégia didática, podendo ser aos alunos foi cedido o link do canal onde o documentário está disponível, de modo que o aluno seja capaz de rever indefinidamente o documentário, ao longo de todos os passos da estratégia didática, podendo revisitá-lo cada nova proposição de atividade. As respostas desse roteiro podem ser recolhidas somente na última etapa da estratégia e a cada problematização do texto histórico trechos da documentário podem ser resgatados em

situação de confronto ora consoante ora dissonante, fornecendo elementos para o preenchimento desse roteiro.

Ao finalizar esses dois primeiros procedimentos, a atividade inicial livre e a apreciação do documentário, que podem ser efetivados em três aulas de 50 min (cinquenta minutos); recomenda-se as leituras, interpretações e problematizações dos textos históricos que tratam da constituição da teoria da eletricidade.

### **3 Os textos históricos, as características e os objetivos dos questionários abertos**

---

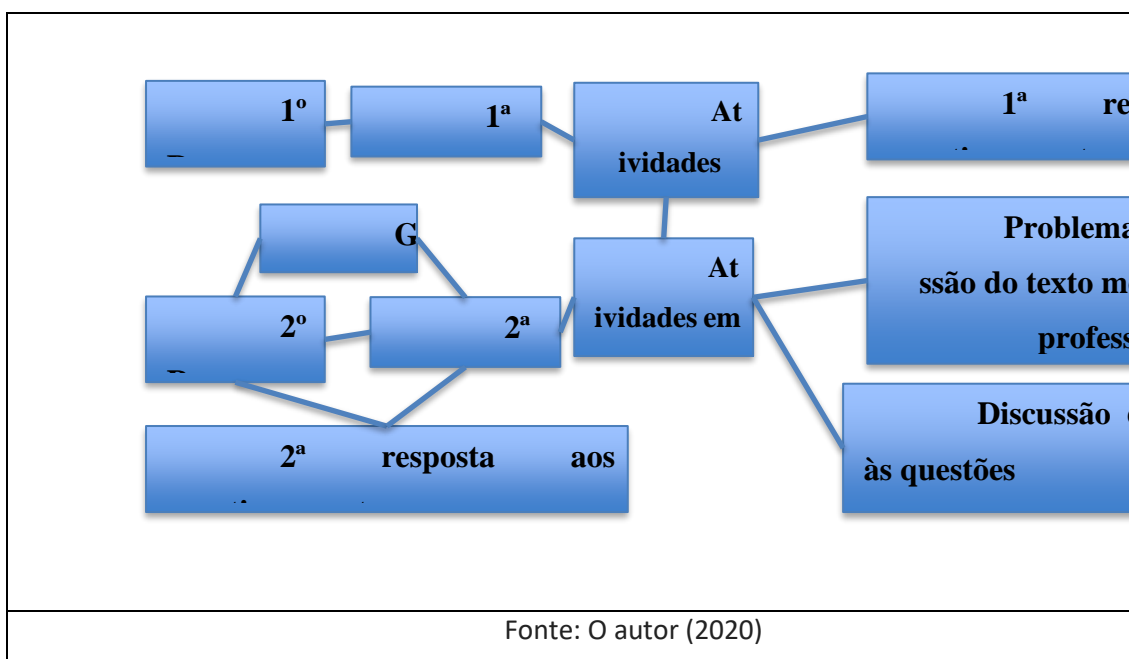
O trabalho principal da estratégia didática consiste na leitura, interpretação e problematização dos textos históricos. São quatro textos históricos, partindo de um tempo histórico da longa duração em direção ao tempo da média e curta duração, problematizando o processo de constituição da teoria da eletricidade, tendo como mote principal os processos de eletrização.

Recomenda-se a distribuição de um texto por vez, sempre no final de um dia de trabalho o aluno recebe o texto, já seguido dos questionamentos, de modo a permitir que tanto a sua primeira leitura quanto o esboço de algumas respostas aos questionamentos ocorra fora do ambiente escolar. Assim é solicitado as respostas do aluno na próxima aula acompanhado de um resumo do texto, manuscrito.

Da quarta aula em diante, seguimos procedimentos relativamente constantes, onde a turma foi dividida basicamente em cinco grupos, onde na primeira aula do dia os alunos se reuniam para confrontar e discutir suas respostas individuais e no final do processo teriam que elaborar um resumo e uma resposta do questionário comum a todo o grupo. Essas atividades foram planejadas de modo a proporcionar o diálogo horizontalizado e valorizar a dimensão coletiva da produção do conhecimento. Nas duas aulas seguintes foram problematizados o texto e as questões, sempre focando no processo de integração sintética entre os saberes teóricos matemáticos problematizados ao longo do ano letivo e os saberes propostos na estratégia didática. No final da aula, um próximo texto e as questões foram distribuídas para as aulas da semana seguinte. Procedimento adotado na problematização dos quatro textos propostos, sendo que à medida que as discussões foram avançando a complexidade das atividades propostas foram aumentando, tanto no que diz respeito aos textos quanto aos questionamentos que os acompanharam.

O quadro abaixo sintetiza o processo de problematização dos textos históricos tanto nas atividades extraclasse como nas atividades em grupo e nas sínteses finais realizadas após a problematização e discussão em sala de aula, mediadas pelo professor.



**Quadro 16** - Resumo do processo de problematização dos textos históricos

A tabela abaixo apresenta uma estimativa de tempo (aulas) necessário para a aplicação dos textos históricos. Assim, desconsiderando o tempo de interação dos alunos com o texto nas atividades desenvolvidas em casa, foi problematizado um texto por semana letiva, como propormos quatro textos históricos, o tempo mínimo de problematização dos textos foi de um mês.

**Tabela 13** - Estimativa de tempo para problematização dos textos históricos.

ETAPAS	AULAS (45 min)
Leitura do texto e em Grupo	0,5
Elaboração do Resumo do Grupo	0,5
Resolução das questões do Grupo	0,5
Problematização/discussão do texto	1,0
Discussão das respostas às questões mediadas pelo professor	0,5

Fonte: O autor (2020)

O primeiro texto, intitulado **Dos fenômenos aos registros escritos**: a domesticação de um olhar pelas tentativas de explicação, é acompanhado por 05 (cinco) questões e problematiza uma longa duração na qual os fenômenos atmosféricos quando

das tempestades eram associados e elementos míticos e religiosos e onde os fenômenos de movimentos de corpos metálicos leves na presença de imãs naturais e de corpos leves quando sofriam algum processo de atritamento ou não eram observado ou não eram dignos de registro. O texto aponta um marco de referência na problematização da eletricidade nos moldes da nascente ciência moderna

Já o segundo texto, com o título **Dos primeiros dispositivos materiais à máquina elétrica**, também acompanhado por 05 (cinco) questões, já sugere que o processo de eletrização por atrito era relativamente bem dominado pela comunidade de intelectuais europeus do século XVII, sendo que o aprofundamento dos estudos foi patrocinado pela interação social dos sujeitos com dois artefatos elaborados única e exclusivamente com o intuito de se estudar o fenômeno do movimento dos corpos leves quando inicialmente atritados: o pêndulo, o versório e a máquina elétrica. Principalmente com a máquina elétrica foi possível produzir e estudar o que hoje compreendemos como efeitos da corrente elétrica – o efeito térmico, o efeito fisiológico, o efeito químico, o efeito luminoso e o efeito magnético. O texto também problematiza como o fenômeno de repulsão de corpos leves depois de atritados, antes tido como uma anomalia, foi gradativamente incorporado à teoria da eletricidade.

O terceiro texto, **Da máquina elétrica à Garrafa de Leyden**: o modelo da eletricidade como um fluido, apresenta uma densidade e uma complexidade maior que os dois textos anteriores, vez que os alunos já se encontram mergulhados nas especificidades dos problemas em torno dos quais gravitam a estratégia didática. Para dar conta dos problemas discutidos no texto, foram elaboradas 09 (nove) questões, tratando da aceleração das pesquisas em eletricidade com elaborações de saberes de caráter empírico e fenomenológico. Aborda diversos conceitos físicos, sendo, portanto, um texto fundamental da estratégia por problematizar o aparecimento dos efeitos da corrente elétrica, o processo de elaboração da série triboelétrica, a condução de eletricidade por longas distâncias e a relação com o inverso da distância, a elaboração de modelos teóricos explicativos nos moldes da ciência moderna, ora em operação analógica com a dinâmica dos fluidos, ora admitindo a eletricidade como um fluido sutil com propriedades mecânicas, a incorporação de alguns fenômenos atmosféricos à teoria da eletricidade.

Finalizando, o quarto texto com o título **Da Garrafa de Leyden à pilha voltaica**: uma teoria constituída sem uma fundamentação em princípios gerais, é o mais denso de todos, acompanhado por 10 (dez) questionamentos. Tem como principal motivação a constituição da teoria eletromagnética nos moldes como a conhecemos hoje, tratando da

proposição da ideia do elétron como uma partícula material com propriedades físicas como massa e carga elétrica, dos processos de armazenamento de energia potencial elétrica em dispositivos como as pilhas e baterias, dos avanços em química devido aos processos de eletrólise, da matematização da teoria a partir da analogia tanto com a gravitação universal quanto com a mecânica dos fluidos.

Apresentadas algumas possibilidades de problematizações dos textos bem como as categorias analíticas básicas norteadoras da pesquisa, deixamos claro que embora a estratégia didática contenha outros elementos como a atividade livre inicial, a apreciação crítica do documentário e a atividade experimental de cunho histórico, os esforços analíticos serão concentrados nas produções textuais dos alunos principalmente no que diz respeito às repostas as questões do texto, também focaremos nas sínteses integradoras e nas autoavaliações. Isso não quer dizer que não iremos problematizar os demais elementos, mas sim que somente desenvolvemos categorias de análises para as produções textuais já referidas.

#### **4As atividades experimentais:**

---

Uma poderosa ferramenta pedagógica possível é a proposição de atividades experimentais em Ensino de Física, por possibilitar a materialização de diversos elementos teóricos relativos aos fenômenos físicos problematizados como conteúdos em sala de aula, pois historicamente os conceitos teóricos foram gradativamente formados e modificados no processo da experimentação, o mesmo ocorrendo com a formulação das leis fundamentais que descrevem diversos fenômenos (ASSIS, 2018). A realização dessas atividades abre um novo mundo para os alunos onde a ciência pode se concretizar no cotidiano e deitando fora diversas figuras mentais estereotipadas sobre a ciência e o cientista. Assim, o trabalho com experimentos históricos<sup>70</sup> favorece o desenvolvimento, a apreensão e a internalização dos conceitos, a compreensão da validade do experimento frente a construção histórica da teoria, além de permitir a eficácia da atividade experimental (BOSS, 2011).

Como estratégia didática eficaz é recomendado propor experimentos históricos que persigam uma fidelidade aos princípios que garantam a eficácia da atividade experimental de modo a possibilitar o emprego de com materiais facilmente acessíveis em casa ou no comércio (ASSIS, 2018). Sendo recomendado também que os alunos sejam os protagonistas de todo o processo da atividade, desde o planejamento dos primeiros passos até a apresentação da atividade (BOSS, 2011).

Vale destacar que os procedimentos experimentais com essas orientações operam com a ressignificação de materiais ordinários do cotidiano material do aluno, dispensando a o laboratório de ciências como o lugar privilegiado na produção da ciência. Com o uso de materiais ordinários ressignificados o laboratório é a sala de aula, o pátio da escola, o quintal de casa. O laboratório é a mente, é o mundo.

Uma vez que este é solicitado a montar o experimento, por método de tentativa e erro, pela criatividade; mesmo que o experimento seja replicado da internet, o aluno tem que adequar a experiência ao seu contexto, sempre buscando alternativas criativas e baratas para a construção do experimento. Além disso, a elaboração do experimento pode

---

<sup>70</sup> No contexto do Ensino de Física há tendências atuais no que diz respeito à proposição de experimentos históricos. A primeira delas objetiva a replicação ou reprodução, a montagem do experimento buscando reconstitui-lo tal qual o seu passado original, perseguido em diversos documentos históricos. A segunda tendência concentra esforços tanto no caráter explicativo e nos princípios que possibilitam a eficácia do experimento, podendo assim utilizar os materiais atuais e disponíveis, podendo até elaborar uma réplica melhorada do experimento (BOSS, 2011).

desenvolver a habilidade manual do aluno e a sensibilidade de perceber qual o meio mais eficaz de se obter o resultado esperado. O uso dessas práticas pedagógicas diminui o fosso existente entre teoria e prática, além de aumentar a autoestima do aluno, pela sua capacidade de poder desenvolver algo.

Como existem experiências realizadas com diversos níveis de complexidade e de sofisticação, imediatamente o aluno é desafiado a pensar historicamente acerca do processo de constituição do experimento que está elaborando, onde é possível avaliar a engenhosidade e a capacidade criativa dos físicos experimentais. Assim o recorrente uso de experimentos no Ensino de Física na Educação Básica permite ao aluno perceber a diferença fundamental entre a Física e a Matemática. Além disso, nas experiências não são avaliadas somente a capacidade criativa do experimento e sua engenhosidade, como também é avaliada a capacidade de expressão oral do aluno e sua capacidade de compreensão do conteúdo solicitado para explicar o fenômeno ao qual o experimento faz referência (BOSS, 2011).

Ponderando essas recomendações, dividimos a turma em cinco grupos e solicitamos a cada grupo a montagem, apresentação e explicação de um experimento histórico no contexto da teoria da eletricidade, enfatizando a replicação de alguns dispositivos materiais que impulsionaram a constituição dessa teoria. Assim cada grupo ficou responsável por apresentar um dos dispositivos como o perpendicular, o versório, a garrafa de Leyden, a pilha voltaica e a máquina elétrica. Sendo estabelecido apenas a data da apresentação, a natureza do experimento e a elaboração de um roteiro de apresentação, deixando livre todas as outras etapas da atividade.

A divisão da atividade experimental por grupo foi realizada na terceira aula da estratégia didática, logo depois da apreciação crítica do documentário, ocasião na qual também foram explicados os objetivos, e os procedimentos de todas as atividades.

## **5A auto avaliação e a síntese integradora:**

---

As sínteses temáticas integradoras são produções textuais transdisciplinares, resultado do trabalho com os temas geradores propostos ao longo de toda a estratégia didática e que possuem o propósito de evidenciar em que medida os alunos conseguiram fazer uma elaboração própria dos temas estudados e se eles conseguiram relacionar essas elaborações com outros temas abordados em outras disciplinas ou a elementos de seu cotidiano, tanto no contexto escolar quanto em ambientes fora da escola. Assim, o aluno é provocado a organizar os novos conhecimentos (conteúdos, habilidades e valores, de natureza intelectual, ética e estética), relacionando-os com suas experiências formativas.

Assim, a síntese integradora é uma produção textual livre, no qual, a partir de um fragmento textual que pretende sintetizar em linhas gerais os pressupostos norteadores da estratégia didática, o aluno é convidado a retomar, organizar e integrar as suas ideias acerca da teoria da eletricidade no contexto de sua constituição histórica e dos elementos filosóficos imbricados nessa teoria.

Já a auto avaliação é o momento no qual o aluno é convidado a fazer uma reflexão de acerca de sua participação no conjunto das atividades desenvolvidas ao longo do seu processo formativo, e pretende perseguir as expectativas contempladas ou não, as dificuldades, as aprendizagens, os interesses e as projeções de si no futuro.

Pela alta carga de subjetividade presente nessas duas atividades, espera-se captar indícios, os fragmentos dos significados e dos sentidos elaborados pelos alunos quando finalizado o percurso formativo proposto pela estratégia didática. Assim objetivo dessas atividades é, a partir das produções textuais dos alunos buscar elementos capazes de fornecer pistas de como estes elaboram suas interpretações e representações dos saberes físicos, e a construção da realidade e como essa construção participa da relação do aluno com o mundo. Analisar as produções textuais dos alunos sob a ótica do escopo conceitual discutido ao longo do trabalho tendo como parâmetro de análise a capacidade de problematização do aluno, a profundidade da problematização e a limitação do saber físico diante das inquietações do aluno.

Buscamos identificar nos textos dos alunos o campo semântico de significação da realidade a partir do qual o aluno opera na resolução de problemas solicitados e como esses elementos se relacionam com suas percepções de mundo, traduzidas, significadas ou pelo menos indiciadas pela na escrita.

Para a análise dessas atividades, utilizaremos as técnicas de análises textuais discursivas, que é uma análise textual<sup>71</sup> qualitativa, que trabalha com informações apresentadas em forma de textos, marcados pela subjetividade, formas de interpretar e compreender características dos sujeitos envolvidos nessas produções textuais (MORAES, 2005).

De modo operacional e objetivo tanto as sínteses integradoras quanto as autoavaliações foram avaliadas a partir dos seguintes aspectos:

- Relação das ideias centrais da produção textual com os temas problematizados na estratégia didática;
- Índícios de esforço de conter na produção textual ideias e vocabulário internalizados a partir os temas problematizados na estratégia didática;

Além desses procedimentos, como as atividades propostas foram contabilizadas para a composição da média do quarto bimestre, também foram observados aspectos qualitativos de difícil computação categorial, mas que são imprescindíveis em processos avaliativos, pois não são captados quando da elaboração das produções textuais, como a participação das atividades desenvolvidas em sala, inclusive dos momentos avaliativos, a autonomia na realização das atividades tanto individual como coletivamente e a capacidade de expressão oral quando da apresentação das experiências e quando das discussões em sala

**Tabela 14** - Esboço cronológico das atividades a serem desenvolvidas nas aulas

Etapas	Duração	Atividade
1.	1 Aula	Apresentação do plano de atividades, esclarecimento dos procedimentos da estratégia didática.  Divisão dos grupos

<sup>71</sup> Análises textuais são modos de aprofundamentos e mergulhos em processos discursivos capaz de reconstituir novos discurso [...] a análise textual qualitativa é um processo integrado de análise e síntese, que se propõe a fazer uma leitura rigorosa e aprofundada de conjuntos de materiais textuais, visando descrevê-los e interpretá-los no sentido de atingir uma compreensão mais elaborada dos fenômenos e dos discursos no interior dos quais foram produzidos. (MORAES, 2005, p. 89)

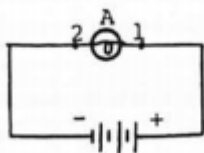
		Explicação da atividade experimental a ser realizada
2.	1 Aula	Aplicação do Questionário Inicial
3.	01 Aula	Entrega do roteiro de apreciação crítica do documentário Exibição do documentário <b>A história da Eletricidade. Episódio 1 – A Faísca</b> . Duração 58min58s. Disponível em <a href="https://www.youtube.com/watch?v=rAqUvE97iCU&amp;t=71s">https://www.youtube.com/watch?v=rAqUvE97iCU&amp;t=71s</a> . Entrega do primeiro texto histórico e solicitação de um resumo do mesmo
4.	03 Aulas	<b>Atividade em grupo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura e resolução das questões referentes ao Texto 1.</li> <li>• Comparar as questões individuais referentes ao Texto 1</li> <li>• Reposta do grupo para as questões do Texto 1</li> </ul> Discussão do Texto 1 mediada pelo Professor. Entrega do segundo texto histórico e solicitação de um resumo do mesmo
5.	03 Aulas	<b>Atividade em grupo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura e resolução das questões referentes ao Texto 2.</li> <li>• Comparar as questões individuais referentes ao Texto 2</li> <li>• Reposta do grupo para as questões do Texto 2</li> </ul> Discussão do Texto 2 mediada pelo Professor. Entrega do terceiro texto histórico e solicitação de um resumo do mesmo
6.	03 Aulas	<b>Atividade em grupo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura e resolução das questões referentes ao Texto 3.</li> <li>• Comparar as questões individuais referentes ao Texto 3</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reposta do grupo para as questões do Texto 3</li> </ul> <p>Discussão do Texto 3 mediada pelo Professor.</p> <p>Entrega do terceiro texto histórico e solicitação de um resumo do mesmo</p>
7.	03 Aulas	<p><b>Atividade em grupo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura e resolução das questões referentes ao Texto 3.</li> <li>• Comparar as questões individuais referentes ao Texto 3</li> <li>• Reposta do grupo para as questões do Texto 3</li> </ul> <p>Discussão do Texto 3 mediada pelo Professor.</p>
8.	03 Aulas	<p>Apresentação das atividades experimentais:</p> <p>Perpendículo, Versório Máquina elétrica. Garrafa de Leyden Pilha voltaica.</p> <p>Entrega dos roteiros das atividades experimentais.</p>
9.	03 Aulas	<p>Síntese integradora</p> <p>Conversa livre com os alunos avaliando todo o percurso</p>
Fonte: O autor (2020)		

### Questionário Inicial

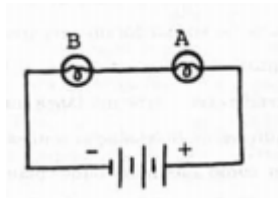
1. Considere um circuito elétrico alimentado por uma bateria e uma lâmpada A, conforme representado no diagrama abaixo;



(Retirado de Gravina e Buchweitz, p. 118, 1994)

A intensidade da corrente elétrica no ponto 1 do circuito é maior, menor ou igual à intensidade da corrente no ponto 2? Justifique sua resposta

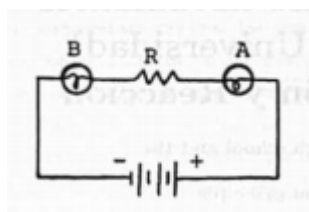
2. No circuito do problema anterior, foi inserido mais uma lâmpada, idêntica à primeira lâmpada, conforme o diagrama abaixo.



(Retirado de Gravina e Buchweitz, p. 118, 1994)

As lâmpadas nesse novo circuito, terão brilho iguais ou diferentes? Justifique sua resposta

3. Agora, no circuito anterior, colocamos um resistor entre as lâmpadas A e B, conforme o diagrama abaixo;



(Retirado de Gravina e Buchweitz, p. 119, 1994)

As lâmpadas nesse novo circuito, terão brilho iguais ou diferentes? Justifique sua resposta

4. Suponha que em um final de semana diversas pessoas de sua família (tios, tias, primos e primas) vão almoçar na sua casa e num dado momento disputam pelo controle da televisão, de modo que não chegando nenhum consenso. Assim, muito irritada e com razão, sua mãe desliga a Tv, dizendo que se não tem como agradar a todos não se agrada ninguém. Um de seus primos sai do sofá e vai ligar a televisão de modo mecânico. O que acontece com os pelos do braço de seu primo quando este entra em contato com a tela da televisão? Por que isso acontece?
5. Em uma bela e ensolarada tarde de B-R-O BRÓ (Meses de setembro, outubro, novembro e dezembro), você penteia seus cabelos sem os molhar. Tente encontrar uma explicação para o fato de depois de penteado o seu cabelo apresentar um volume fora do normal. Você consegue identificar a ocorrência de outro fenômeno além do descrito? Repetindo o procedimento com o cabelo molhado há uma redução ou um aumento no volume do cabelo? Por qual motivo?
6. Em algumas circunstâncias, ao conectarmos dispositivos elétricos receptores (ventiladores, liquidificadores e demais aparelhos) em tomadas, é comum observarmos uma faísca ou uma luz de curta duração acompanhada de um pequeno barulho. Existe alguma relação desse fenômeno com os fenômenos de raio, relâmpago e trovão observados em tempestades? Se houver, qual relação é essa?

Q	Respostas Questionário
1.	Igual, porque a corrente elétrica, o movimento ordenado de portadores de carga elétrica em um dado meio, quando percorre um dispositivo elétrico como um resistor alimenta esse dispositivo com energia elétrica, isto é, a corrente elétrica apenas fornece energia potencial elétrica para o dispositivo transformar em outra modalidade de energia.
2.	Em relação ao segundo circuito as lâmpadas terão brilhos iguais, porque como as lâmpadas são idênticas, estão submetidas à mesma diferença de potencial e são percorridas pela mesma corrente elétrica. Assim elas emitirão a mesma potência irradiada. Mas quando essas

	lâmpadas são comparadas com a lâmpada do circuito da questão anterior, elas terão brilho menor pelo fato de se ter menos energia disponível.
3.	Igual, porque as lâmpadas são idênticas, submetidas à mesma diferença de potencial e percorridas pela mesma corrente elétrica. Mas quando comparadas com as lâmpadas da questão anterior terão brilho ligeiramente menor devido a presença do resistor.
4.	Os pelos do braço do primo irão se eriçar devido a interação elétrica por indução com os elétrons presentes na tela da televisão que estão em equilíbrio eletrostático. A aproximação do braço altera esse equilíbrio produzindo movimento de cargas elétricas tanto na tela da televisão quanto no braço.
5.	<p>Ao pentear os cabelos em dias secos esfregamos o pente nos cabelos de modo a provocar uma eletrização por atrito, onde pente fica eletrizado com cargas de uma natureza enquanto o cabelo fica eletrizado com cargas de natureza oposta à das cargas adquiridas pelo pente. Cada fio individual do cabelo adquire carga de mesma natureza que a carga adquirida pelos outros fios. Assim por terem cargas de mesmo sinal, os cabelos tendem a se afastar um do outro de modo que os cabelos apresentam uma característica de maior volume.</p> <p>Com o cabelo molhado isso não acontece, por que ao penteá-lo, o pente ao invés de interagir diretamente com o cabelo, interage com a camada de água presente entre os cabelos de modo a não permitir a eletrização.</p>
6.	Sim, no diminuto espaço entre os terminais fase e neutro de uma tomada, temos a presença de um campo elétrico aproximadamente uniforme e no qual está armazenado energia potencial elétrica nas proximidades do ar. Ao fechar o circuito da tomada, interrompemos esse campo elétrico, fechamos o circuito e provocamos uma descarga do ar, de modo que a energia potencial elétrica presente no ar é dissipada na forma de luz e do som originado da brusca movimentação da massa de ar no interior da tomada. Então podemos dizer que ao pôr um dispositivo elétrico em uma tomada provocamos um fenômeno atmosférico em pequena escala.

Fonte: O autor (2020)

## **Roteiro para a análise do documentário**

---

O uso de filmes como fontes documentais é um poderoso instrumento de trabalho, mas para isso se faz necessário uma análise crítica do material audiovisual em questão. Uma análise que transcenda o conteúdo mais aparente e imediato. O gênero documentário possui linguagem própria e possivelmente é pouco conhecido por você e talvez não seja um de seus gêneros prediletos, o que vai exigir de sua parte um esforço redobrado para a execução dessa atividade, vez que vai provocar em você uma experiência de espectador distinta da que você está acostumado(a).

Desde já lançamos um convite a você pensar sobre o que você assiste

### **5.6 Leitura geral**

1. Como escolhe um filme para assistir ou quais o atrai?
2. Prefere filmes que atinjam os sentidos e as emoções, para que não seja preciso nenhum trabalho intelectual?
3. O que valoriza num filme: interpretação dos atores? O conteúdo? A fotografia?  
Os efeitos?
4. Como você capta as informações das imagens cinematográficas?
5. Em que consiste ser um espectador passivo ou ativo?
6. Por que você não gosta de determinados filmes?
7. O que é um filme?
8. Como é feito ou produzido?
9. Quem trabalha nele, apenas os atores?
10. Quanto custa fazer um filme?
11. Por que a maioria dos que vemos no Brasil são norte-americanos?

### **5.7 Leitura interna**

Leitura interna do documentário:

1. Qual o conteúdo principal do filme?  
Quais os conteúdos secundários?
2. Quem são os personagens do filme?

3. Que acontecimentos você elencaria como principais?
4. Quais os cenários do filme? Eles seguem algum padrão?
5. Quais os lugares e tempo em que decorrem as histórias narradas?

Elabore a ficha técnica, da produção do filme: diretor, produtor, música, tipo de técnicos, ano, país....

### **5.8 Primeira leitura ideológica**

#### **- QUANTO AOS ASPECTOS IDEOLÓGICOS DOS FILMES:**

- A imagem não ilustra nem reproduz a realidade, mas reconstrói a realidade com base em uma linguagem própria, produzida em determinado contexto histórico.

- O espectador não pode confundir o que assiste com a realidade. Um filme é uma produção humana, portadora de ideologias, formas de pensar que fatalmente irão constituir o resultado final do mesmo. Você está sendo convidado a exercitar sua capacidade de percepção nesse contexto: um filme merece ser lido internamente, os seus principais elementos etc..., e como produto cultural (que está inserido num momento histórico – tempo, numa sociedade de consumo, com um público certo a ser atingido); ele possui sua própria história, exigindo uma leitura crítica como qualquer outro documento, desalienando-nos dos elementos mais visuais apenas, como efeitos especiais, etc... agregando aí a nossa capacidade de ir além. Como questões norteadoras dessa reflexão para além da imagem do filme, gostaríamos que atentasse para os seguintes aspectos:

1. O que de fato o filme comunica nas suas imagens?
2. Qual a finalidade das imagens mostradas no filme?
3. Quais nacionalidade dos autores se fazem presente no filme? de que forma?

O que há por trás das “mensagens” que o filme passa? Em que medida podemos nos ater às reflexões levantadas no filme, ELAS servem para qualquer lugar e pessoa no planeta? E quais são as reflexões que podemos dizer que não nos servem?

- Faça uma descrição das cenas, dos personagens e dos objetivos do filme, considerando o tema tratado, segundo o roteiro abaixo:

### **5.9 Segunda leitura ideológica**

1. O tema central do filme e as ideias principais são quais?
2. Que tipo de linguagem é possível observar no filme? Exemplo: o autor trabalha de forma mais dramática, já revelando ele mesmo o desenrolar do tema, ou deixa margem para que o espectador pense sozinho e tire suas próprias conclusões, inclusive sobre o desfecho do filme?
3. Há uma relação direta do filme selecionado com o tema abordado em sala de aula? Identifique cenas onde isso fica claro
4. Identifique quais os tipos de questões relacionadas à temática dos processos de eletrização ficam explícitas no filme?
5. Quais os personagens principais e onde eles se enquadram dentro das relações de produção do conhecimento acerca dos processos de eletrização?
6. Com relação aos papéis destes personagens, são fictícios ou se parecem com pessoas conhecidas no nosso dia-a-dia?
7. Quais as situações mostradas no filme, diálogos, imagens, etc... que se pode relacionar com os temas tratados em sala de aula?
8. Os personagens são mostrados de forma a caricaturá-los (deboche, etc... ou menosprezando o seu valor na sociedade, etc...). Analisar isso com relação aos principais personagens. Exemplo: Gray, neste filme, é tratado como? Com algum valor? Ou excessivo valor que até não se parece nada com a realidade?
9. Que outras questões podemos levantar a respeito deste filme?



### Texto 1: Dos fenômenos aos registros escritos: a domesticação de um olhar pelas tentativas de explicação

A história dos processos de eletrização como fenômeno e não como teoria elaborada, considerando o caráter universal do conhecimento da Física, indicado pela mecânica clássica e reforçado pela mecânica relativista, talvez seja anterior até mesmo à constituição do planeta Terra.



Para um objeto existir conceitualmente é necessário e suficiente que ele seja pensável por

**Mario Bunge**

**(Filósofo argentino 1919 - 2020)**

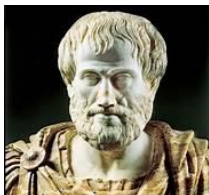
Um fenômeno natural que possivelmente é mais antigo do que a própria humanidade e que hoje pode ser parcialmente explicado a partir da teoria eletromagnética vigente é o raio, que durante um grande intervalo de tempo esteve associado elementos religiosos e mitológicos, de modo que em diversas culturas antigas os raios se configuravam como uma manifestação dos poderes da divindade e um modo desta se comunicar com o plano terreno.

**Existem diferenças entre raios, relâmpagos e**



Ao longo do processo civilizatório que cronologicamente constitui a própria idade da humanidade, os raios podem ter sido a primeira fonte de **fogo**, sem a qual, possivelmente não haveria o desejo de controle do fogo e nem o desejo de elucidá-lo seja na

E os Gregos como eles pensaram sobre os raios?



**O trovão é provocado por uma colisão entre as nuvens e o raio é um incêndio de uma exalação causada por elas**

**Aristóteles**

(384 a.C. - 322 a.C.)

**Vocês pensam como o Aristóteles? Por**



**Observei o comportamento atrativo apresentado por uma resina vegetal quando esta era**

**Tales de Mileto**

(624 a.C. - 546 a.C.)



**O âmbar é uma resina vegetal fossilizada, proveniente de uma espécie de pinheiro do período terciário extinta a milhares de anos, sólida, amarelo-**

Os primeiros registros escritos acerca das propriedades atrativas do âmbar se encontram em textos produzidos na Grécia entre os séculos VII e IV e fazem referência às elaborações conceituais de Tales de Mileto. Também são encontrados registros escritos de observações acerca do comportamento do âmbar realizadas por diversos outros gregos

como Teofrastus, no século III a.C de modo que podemos acreditar que os conhecimentos relatados por Tales, gradativamente, depois do século VI a. C. passaram a fazer parte do saber ordinário de qualquer pensador grego desse tempo.

**Do século VII ao século IV, podemos afirmar que temos um lapso de 300 anos, uma média duração na qual os saberes acerca do âmbar foram preservados e compartilhados, fazendo parte da**



É nesse ambiente de efervescência cultural que se possibilitou uma grande inovação no pensamento antigo, onde alguns pensadores identificam como sendo a origem da atitude filosófica ocidental. Nesse contexto, surgem as primeiras tentativas de explicações para a origem e composição do mundo que não são exclusivamente pautadas no conhecimento religioso ou mitológico.

**Mas, será que os gregos pensavam sobre esse assunto?**

O naturalista romano Plínio (23-79 d. C.), no seu livro **Historia Natural** faz referência diversas vezes ao poder atrativo do âmbar. Além disso, documenta que em algumas construções antigas já se colocavam hastes metálicas no ponto mais alto da edificação com o intuito de protegê-las de raios.

**A permanência de um termo por mais de 2700 anos não é uma exclusividade dos termos e conceitos com os quais a Física opera, mas sim do conhecimento ocidental encarado como um sistema único e pode evidenciar o movimento de resignificação do termo, a dinâmica do conceito, a história da constituição e modificação das ideias. É evidente que existe uma grande distância entre o significado do termo elétron e o**



**E surge a “magnetita” na história...**



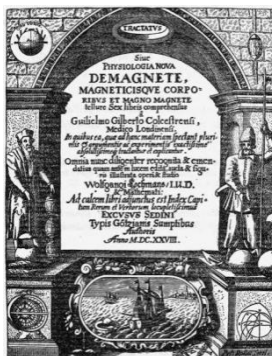
A Magnetita é um mineral fortemente magnético, quebradiço, de cor preta e brilho metálico. formado pelos óxidos de ferro II e III. Apresenta forma cristalina isométrica, geralmente na forma octaédrica. É a pedra imã mais magnética

também se encontram

atividade atrativa do âmbar quando atritado. Tal qual estes, aqueles foram transmitidos através das trocas culturais e da preservação temporal de alguns documentos, atravessando os séculos.

Tanto o âmbar quanto a magnetita, embora fazendo parte do cotidiano da produção material, tinham um caráter mágico e produziam fascínio e encantamento em que os observava. Assim por esse seu caráter excepcional, foram atribuídas propriedades terapêuticas e medicinais.

O livro **De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure; Physiologia Nouc, Piuribus et Argumentes et Experimentis Demonstrata (Sobre os Imãs e Corpos Magnéticos e sobre o Grande Imã, a Terra Nova Fisiologia, Provas e argumentos de experiências comprovadas)**, publicado, na Inglaterra, no ano de 1660 por William Gilbert, além de produzir uma síntese dos conhecimentos disponíveis acerca do magnetismo e do âmbar propõe formas novas e originais de pensar os problemas relacionados aos objetos em questão, além de propor tanto terminologias específicas quanto elaborações explicativas fundamentadas na experimentação. Ele inaugura as pesquisas modernas sobre o magnetismo e sobre a eletricidade.



**O seu livro é fruto de cerca de 17 anos de trabalhos e estudos. Além de diferenciar os fenômenos relacionados ao âmbar dos fenômenos relacionados à magnetita. Os conhecimentos sintetizados no livro de**

O desenvolvimento de novas teorias elétricas e magnéticas depois de Gilbert foi lento, porém com uma velocidade superior à dos movimentos observados tanto na Antiguidade Clássica quanto no período medieval. Se antes uma mudança na forma de pensar os movimentos de atração em corpos atritados no âmbar só eram documentadas em

intervalos de tempos milenares, os dispositivos criados única e exclusivamente para estudar tais movimentos, a saber o versório e o perpendicular, o trabalho dos compiladores de dados acerca dos materiais que apresentavam as propriedades atrativas quando atritados, o trabalho de filósofos naturais que elaboravam representações explicativas dos fenômenos estudados e o trabalho dos filósofos experimentais que tanto colaboraram para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos instrumentos utilizados nos estudos experimentais quanto proporcionaram interações dos sujeitos com os instrumentos que favoreceram o desenvolvimento do psiquismo capaz de fomentar e enriquecer as representações explicativas. Esses três elementos formam uma totalidade coesa e indissociável que caracteriza estruturalmente a atividade de pesquisa e de elaboração da teoria da eletricidade e dos processos de eletrização.

**E o que foi o versório e o perpendicular? Onde eles entram nessa história?**

#### **5.10 Questões referentes ao Texto 01**

1. O estudo dos fenômenos hoje conhecidos como elétricos possivelmente se iniciara a cerca de 2700 anos atrás. De lá para cá, sempre foram estudados por meios indiretos, através do movimento produzido quando da interação de um corpo com outro quando atritados. Quais as principais explicações para esses fenômenos apontados pela Antiguidade Clássica?

2. Numa história que se perde no tempo, o ser humano sempre manifestou um sentimento contraditório em relação aos fenômenos do raio, relâmpago e o trovão. Diante do exposto responda os quesitos abaixo:

- a) Como e porque esses fenômenos foram incorporados às diferentes narrativas mitológica de diversas culturas distanciadas tanto no tempo quanto ocupando espaços diferentes?
- b) Como Aristóteles explica a ocorrência dos fenômenos do relâmpago e do trovão? Por que ele não elabora uma explicação do raio?
- c) Em que difere a explicação aristotélica das explicações mitológicas antigas?
- d) Em algum momento da sua existência já foi proposto a você uma explicação para os fenômenos do trovão e do relâmpago semelhantes ao pensamento aristotélico?

A que você atribui a persistência dessa explicação, mesmo sabendo que o pensamento aristotélico foi constituído no séc. IV a.C.?

3. Os registros das observações acerca das propriedades atrativas do âmbar atritado e da magnetita indicam que Tales de Mileto foi um dos primeiros a se ocupar do registro de tais comportamentos ainda no século VII a.C. e que Gilbert consegue publicar um livro compilando todas as informações disponíveis até então sobre o tema em questão além de elaborar novos quadros explicativos para os mesmos. Como e porque os conhecimentos acerca do âmbar e da magnetita foram preservados e transmitidos da antiguidade clássica até o século XVII?

4. O livro de Gilbert, publicado na Inglaterra no ano de 1660, é apontado como a inauguração das pesquisas modernas ou renascentistas acerca dos fenômenos ditos elétricos. Identifique e explique alguns elementos tanto da obra quanto do contexto na qual ela fora publicada que possibilitaram a aceitação das ideias contidas no livro em detrimento das explicações características da cosmovisão greco-romana antiga.

5. A elaboração dos conhecimentos em eletricidade nos moldes do conhecimento característico do período moderno, depois da publicação do livro de Gilbert, ainda transcorreu de modo lento, porém de modo radicalmente diferente do modo como a tradição greco-romana encarava o problema. Quais as principais modificações que foram observadas no tratamento da problemática da eletricidade no período moderno?

### 5.11 Chaves comparativas de repostas referentes às questões do Texto 1

Q	Respostas
1.	As explicações da Antiguidade Clássica para os fenômenos hoje tidos como elétricos marcam uma inflexão no pensamento humano no que tange às elaborações de modelos teóricos explicativos de realidade. Os modelos pautados exclusivamente em explicações fantásticas e/ou religiosas perdem força em detrimento das explicações elaboradas principalmente pelos gregos, onde são mesclados elementos racionalistas com uma gama de outros elementos, incluindo também a imaginação, a

	criatividade, a fantasia e a mitologia como elementos indistintos de elaboração de explicações acerca da natureza.
2.	<p>a) Em diversas culturas antigas os raios estavam associado elementos religiosos, como uma manifestação dos poderes da divindade e um modo de comunicação com o plano terreno. Devido a seu som, à emissão de uma luz intensa e instantânea, além dos danos e perigos de morte, os raios produziram um comportamento humano contraditório: o desejo de domesticar ou minimizar os seus efeitos perniciosos, conformando-os ao universo cultural de uma dada civilização. Essa tradição possuía um jogo complexo de nuances, sendo que um deles era o carácter antropomórfico das divindades.</p> <p>b) O trovão seria provocado por uma colisão entre nuvens e o relâmpago seria um incêndio de uma exalação ejetada pelas nuvens. O método de conhecimento aristotélico fundamentava-se essencialmente na observação e catalogação do que era observado. Na elaboração de um modelo explicativo para o raio seria necessário um grande poder de imaginação e de criatividade para lidar com realidades ainda não observadas.</p> <p>c) Difere dos outros modelos explicativos por incorporar elementos racionalistas em detrimento da utilização da intervenção das divindades, o que inaugura uma das bases da Filosofia Ocidental.</p> <p>d) À presença de estruturas de longa duração nas tentativas de elaboração de modelos explicativos referentes à teoria da eletricidade.</p>
3.	<p>Por que uma das características do comportamento humano é o desejo de compreensão do meio que o cerca e para tal, o homem elabora modelos teóricos explicativos que medeiam as suas interações com este meio, partilhando com seus semelhantes os significados desses modelos a partir de trocas culturais entre culturas espacial e temporalmente distintas do grupo social ao qual este pertence.</p>
4.	<p>As mudanças produzidas nas estruturas mentais provocadas por um vasto conjunto de elementos sociais, políticos e culturais dentre eles podemos citar as grandes navegações, a noção de perspectiva e profundidade, o enfraquecimento do das estruturas de poder medievais, o</p>

	<p>contato com culturas não europeias (americanas), conhecimento de fauna e flora desconhecidas, a reforma luterana. Esses elementos convulsionam o status quo fundado no conhecimento escolástico e nas estruturas culturais pautadas no catolicismo.</p>
5.	<p>A catalogação de materiais que após atritados apresentavam comportamento semelhante ao âmbar, tal atividade retira do âmbar a exclusividade de manifestação do comportamento atrativo ao passo que compila os conhecimentos até então dispersos acerca do fenômeno possibilitando um ponto de partida já avançado para as pesquisas que foram desenvolvidas ao longo dos séculos XVII e XVIII.</p>



## Texto 2: Dos primeiros dispositivos materiais à máquina elétrica

Como observado no texto anterior, devido a seu caráter permanente, as propriedades da magnetita foram mais fáceis de serem estudadas até o séc. XVI, porém até o séc. XIX, os esforços que antes estavam concentrados no magnetismo foram deslocados para os estudos em eletricidade. Tais estudos inicialmente foram concentrados na catalogação dos materiais que apresentavam propriedades atrativas quando atritados, no diagnóstico da presença ou ausência da propriedade atrativa, na produção e controle dessa propriedade.

Os conhecimentos sobre eletricidade e magnetismo eram mais descritivos que explicativos. Descreviam e poucas vezes arriscavam uma explicação de alguns fenômenos e quando o faziam mesclavam elementos da racionalidade mecânica newtoniana ladeada com elementos da racionalidade característica da antiguidade ou do período medieval.



O que viria a mudar no estudo da eletricidade depois do séc. XVI?



**Respondendo...** A humanidade conseguiu elaborar instrumentos voltados exclusivamente para o estudo dos fenômenos de atração de corpos atritados, como por exemplo, o perpendicular, o versório e a máquina elétrica.

### Apreciações críticas do documentário referenciadas

Aluna Vila Angélica

Filme

#### O Que Você Assiste?

- 1ª) Os filmes que me atraem são os que causam uma certa emoção
- 2ª) não
- 3ª) o conteúdo do filme
- 4ª) a partir do desenrolar do filme
- 5ª) um espectador ativo presta atenção em todo detalhe do filme, enquanto o passivo nem tanto
- 6ª) porque nem todo conteúdo chama minha atenção

7ª) algo que passar uma determinada história de vários tipos e gêneros

8ª) através de gravações, atuações e efeitos

9ª) produtores povoadores e etc.

10ª) varia por orçamento

11ª) por causa da grande influência dos EUA

### **Leitura Interna do Filme**

1ª) O conteúdo principal do filme é sobre a física e sua história e os secundários são sobre os fenômenos relacionados a física

2ª) O filme é contado por um professor de física

3ª) O início como começou a física e os conteúdos relacionados à origem dos fenômenos da natureza: trovão raio, relâmpago

4ª) Os cenários do filme é representando os acontecimentos da física

5ª) as histórias narradas decorrem de muito tempo atrás começando da Grécia

### **Quanto aos Aspectos Ideológicos dos Filmes**

1ª) O tema a ser abordado

2ª) uma forma de chamar a atenção dos espectadores

### **Descrição das Cenas dos Personagens e dos Objetivos do Filme**

1ª) O tema central do filme é sobre a física e essas propriedades

2ª) O autor revela ele mesmo o desenrolar do tema

3ª) Sim, pois em sala de aula é abordado exatamente sobre o que se passa no filme

4ª) As experiências com o ambos e as explicações sobre os raios, relâmpagos e trovões

5ª) O professor que faz explicações das experiências durante o filme

6ª) fictícios

7ª) diálogos sobre a física, fenômenos relacionados à eletricidade e etc.

8ª) com valor, pois ele explica a seriedade do assunto

9ª) que é um filme muito importante para o aprendizado dos espectadores sobre a física

Aluno Boa Vista

### **Filme**

1ª) A escolha depende da ocasião. Gosto de ação, comédia, suspense e terror.

2ª) não tenho preferência nesse sentido

3ª) As interpretações dos atores e o conteúdo que contem no filme

4ª) As imagens são obtidas por projeção opta em que se tem a sensação, pela troca de imagens, de um movimento contínuo

5ª) passivas são aqueles que apareciam voluntariamente ou não um evento.

6ª) Os filmes que eu não gosto de é devido a história que não é envolvente, é chato.

7ª) É um produto audiovisual finalizado, com uma certa duração, para ser exibido no cinema, na televisão ou algum veículo.

8ª) É formado por uma série finita de imagens fixas, registados sobre um suporte físico e que, projetadas a uma velocidade resolutiva da visão humana, dão ao expectados a sensação de movimentos.

9ª) além dos atores, diretos, direto de fotografia diretos de arte.

10ª) coisa de 3 milhões de dólares é média de um filme nacional.

11ª) Pois são a maior potência do planeta e como consequência sofremos a influência deles

Aluna Vila Monteiro

### **Filme**

1- Filmes históricos e que a história é verídica, filmes críticos da sociedade e relacionada a ciência.

2-Eu gosto daqueles que trabalham a minha mente, que me levam a pensar, a investigar. Alguns eu gosto que trabalha as emoções.

3- O conteúdo, o enredo, a história que é apresentada.

4- Cores e detalhes que o filme dar.

5- O passivo e o ativo acabam participando dos filmes. Consiste na observação.

6 – O conteúdo, a imagem ruim ou péssimos atores

7 - Para mim, um filme é um vídeo de algumas horas com encenação de atores a fim de passar uma ideologia.

8- Através de encenação, elenco, câmeras e uma ideia.

9- Não, há toda uma liderança por trás da cena do filme, pessoas que trabalham na área de design, tecnológico, até cientistas de várias áreas para promover um filme de inteligência,

10 - Acredito que em média de 100 a 500 mil.

11- Por causa da globalização e a elite de filme no mundo que é os EUA. E além disso, o roteiro tem o complexo vira-lata que Nelson Rodrigo falou, que o brasileiro não valoriza o que é seu.

### **LEITURA INTERNA DO FILME**

1- A história da eletricidade a partir da faísca e a história de cada pessoa responsável pela eletricidade

2- Humpry Dorey, Robert Hooke, Francis Hawksbee, Sthephen Gray, Benjamin Franklin, George Lovis e Thonios Francois Henry Arunoch, Albert Einstein, Gaheuni (ingleses, americanos e etc.)

3- Armazenar eletricidade por horas e o fato que a curiosidade de alguns homens mudou toda a história

4- Sim, os lugares de experiências históricas, cada qual em seu lugar.

5- Começa do século XIX, no porão de mayfan, era na época do iluminismo

6- BBC News, música clássica, eu não sei o ano e nem os outros campos.

### **ASPECTOS IDEOLÓGICOS**

1- Conhecimento, vida real, história, filmes autobiográficos e relacionado a ciência de um modo geral.

2- Demonstra a quem assiste como tudo ocorre e as responsáveis e como foi.

3- Londrinos, Austríacos, ingleses

4- Que as primeiras aparições de eletricidade só eram possíveis a alta classe e era vista como um show. Não para toda a sociedade, pois o acesso era restrito somente aos ricos, assim como todas as coisas boas no mundo. No filme, não tem nenhuma cena que não possa servir, todos são interessantes.

1- Os primeiros experimentos da eletricidade a iniciar pela faísca.

2- Ele é direto, claro e objetivo no que fala e mostra, por ser científico

3- Sim, o professor Fernando já trabalhou como assunto a eletricidade desde o início do ano. Como que foram os primeiros estudos do âmbar, instrumentos elétricos, como acontece dentro dos instrumentos, nos despertou a certeza e a dúvida, nos falava dos choques e muito mais.

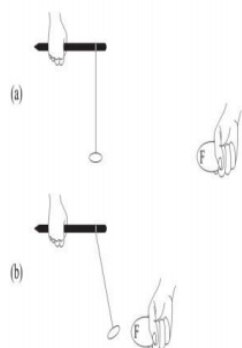
4- Duvida e curiosidade

5- Albert Einstein teoria / Gray – folhas de ouro / Humphy Dervy – pilha elétrica / Francis Hawksbee – esfera giratória

6- Parecem fictícios, pois são pessoas que fizeram revolução na sua época e foram tão incríveis que parecem fictícios.

7- Âmbar estudo, choque elétrico, eletrização, campo elétrico, elétrons.

8- Com valor. Alguém muito admirável, parece fictício, mágicos, mas eram pessoas simples que acreditaram na eletricidade.



O perpendicular é um artefato simples, composto de uma linha vertical presa na extremidade superior de um suporte fixo e tendo em sua extremidade inferior um corpo qualquer (passível de interações de atração e repulsão), é parecido com um fio de prumo ou um pêndulo elétrico. Um dos registros escrito desse dispositivo foi encontrado na Itália, em um texto datado de 1543 e atribuído a Girolamo Fracastoro (1478-1553).



**Depois...** Faça uma pesquisa sobre Girolamo Fracastoro e o seu perpendicular.



O versório, do latim *versorium*, que remete à ideia de instrumento girante, é um instrumento mais complexo. Consiste de duas partes articuladas: um suporte fixo vertical no qual uma haste horizontal é sustentada, de modo que seja capaz de girar livremente em relação ao eixo vertical. O sistema de funcionamento do versório é similar a uma bússola magnética.

A partir desses instrumentos gradativamente foram construídos instrumentos mais elaborados coerentes com a gradativa complexificação da teoria da eletricidade. As construções mentais explicativas foram acompanhadas de perto pelas elaborações materiais voltadas para o estudo dos fenômenos elétricos. A simplicidade desses dispositivos possibilitou que um corpo coletivo considerável interagisse com eles de modo que dessa interação e das experiências de vida inerentes a cada sujeito conhecedor fora elaborada uma gama heterogênea e considerável de conhecimentos acerca da eletricidade, possibilitando o surgimento de **máquinas elétricas**.

Encontramos um dos escritos da máquina elétrica no livro **Novas Experiências (assim chamadas) de Magdeburgo sobre o Espaço Vazio**, publicado por Otto von Guericke (1602-1686) em 1672, mas que segundo o prefácio da obra terminado em 1663. No seu livro, além dos fenômenos de atração, conhecidos por milênios, já consta a

referência à propriedade de repulsão apresentada por alguns objetos leves, como penas de aves.



A máquina elétrica, na região direita do desenho (tomando o leitor como referencial) e à esquerda uma representação de Von Guericke fazendo uma pena levitar sob o efeito da eletricidade em decorrência de uma esfera de enxofre previamente atritada.



A máquina era constituída de uma bola de enxofre moldada em um globo de vidro, suspensa e fixada em um eixo que passava por seu centro. A bola de enxofre entrava em rotação quando uma manivela colocada numa extremidade do eixo era girada. A bola de enxofre girante era posta em contato superficial com alguns materiais e depois de um intervalo de tempo tanto a bola de enxofre quanto o material apresentavam propriedades atrativas.

Ela representa uma inovação por reunir em um único dispositivo o corpo a ser atritado e o mecanismo de produção do atrito. Tanto no versório quando no perpendicular há três momentos distintos: o primeiro momento no qual temos que, por empreendimento humano, produzir interações superficiais por fricção de um corpo A qualquer com outro corpo B qualquer para que em um segundo momento aproximar o corpo A de um terceiro corpo C e em seguida constatar a aproximação do corpo C em relação ao corpo A. Na máquina elétrica há uma consideração redução do esforço muscular e uma produção de eletricidade em ordem de grandeza até então desconhecida



Elemento importante a ser observado é que desde a tradição da antiguidade clássica até os escritos do séc. XVIII, portanto em grande intervalo de tempo, não havia quaisquer referências aos fenômenos repulsivos de natureza elétrica. A ausência de documentos acerca da repulsão pode indicar que tanto na cosmovisão antiga quanto na cosmovisão medieval o animismo natural não tinha condições de sequer conceber tais movimentos repulsivos. Já era por demais complicado explicar os movimentos atrativos, exigindo complexas especulações filosóficas.

Possivelmente com a disponibilidade de dispositivos materiais voltados única e exclusivamente para o estudo dos fenômenos elétricos como o perpendicular, o versório e agora a máquina elétrica de fricção, o ser humano passou a interagir com mais frequência e intensidade com os fenômenos elétricos, tornando possível experimentar os fenômenos repulsivos. Quando relatados, os fenômenos de repulsão eram vistos como uma anomalia, um ruído presente na experiência, provocado por uma série de elementos externos, sendo que o principal deles seria o ar. Assim o movimento que hoje aceitamos como repulsivo era interpretado como um deslocamento produzido pelo vento, sendo necessário o trabalho de diversos pesquisadores, em diversas regiões da Europa, entre o fim do séc. XVII e ao longo do séc. XVIII, para incorporá-lo à teoria da eletricidade que estava sendo constituída a partir do final do séc. XVI.

Ainda no livro de Guericke estão documentados fenômenos que só foram possíveis de serem produzidos com a máquina elétrica, devido a uma intensidade maior de produção de eletricidade em relação aos meios antes disponíveis. Antes os corpos eram atritados exclusivamente pela força muscular humana, de modo que o sujeito esfregava um corpo em outro até estes corpos apresentarem propriedades atrativas. Hoje aceitamos que o corpo humano é um ótimo condutor de eletricidade e que a Terra pode receber cargas oriundas do corpo humano. Assim, tendo essa teoria elétrica contemporânea como norteadora da explicação, podemos aceitar que os métodos utilizados antes da máquina elétrica produziam efeitos de baixa intensidade. Ainda no livro de Guericke estão documentados fenômenos que só foram possíveis de serem produzidos com a máquina elétrica, devido a uma intensidade maior de produção de eletricidade em relação aos meios antes disponíveis. Antes os corpos eram atritados exclusivamente pela força muscular humana, de modo que o sujeito esfregava um corpo em outro até estes corpos apresentarem propriedades atrativas. Hoje aceitamos que o corpo humano é um ótimo condutor de eletricidade e que a Terra pode receber cargas oriundas do corpo humano. Assim, tendo essa teoria elétrica contemporânea como norteadora da explicação, podemos aceitar que os métodos utilizados antes da máquina elétrica produziam efeitos de baixa intensidade.



Foi preciso uma lenta e profunda alteração no psiquismo dos sujeitos para eles perceberem a existência dos fenômenos repulsivos. Essa alteração tivera a colaboração tanto das construções teóricas e conceituais já desenvolvidas como as ideias e os conceitos possibilitados a partir da interação dos sujeitos como os instrumentos materiais utilizados como dispositivos experimentais e mediadores do processo dessas novas elaborações conceituais.

Experiências análogas à de Guericke foram feitas por Gray e por Francis Hawksbee, na Inglaterra, em 1708, por Du Fay, na França, por Franklin, nos Estados Unidos, e por um conjunto de outros pesquisadores em outras regiões da Europa.



A produção do conhecimento científico é feita por diferentes personagens em diversos contextos.

O estudo dos fenômenos relacionados à eletricidade está repleto de episódios nos quais dois ou mais pesquisadores de modo isolado, estudando o mesmo objeto chegam a resultados idênticos ou semelhantes sem, contudo, não terem contato entre si. Podemos interpretar tais acontecimentos aceitando que na Europa de então havia uma atmosfera de saber, um *Zeitgeist*<sup>1</sup> responsável pelas estruturas mentais, emocionais, afetivas, concepções de realidade de um mesmo espaço



Voltando para as máquinas elétricas...





**Máquina elétrica modificada segundo a eficácia. Com a manivela o movimento era produzido sem o contato direto do sujeito com o globo girante. As roldanas com tamanhos diferentes produziam um giro mais veloz no globo (um giro na roldana maior produz diversos giros na menor). As estruturas metálicas com lã nas suas extremidades funcionavam como escovas, atritando no globo e produzindo os efeitos atrativos, o odor, a faísca e o estalo.**

Com a máquina elétrica, o globo ficava suspenso, de modo a não ter contato com superfícies capazes de atenuar os efeitos, além disso, através da manivela, o globo poderia atingir uma expressiva velocidade de rotação de modo a produzir intensos movimentos de atração bem como outros efeitos antes não observados como estalidos, faíscas e um odor característico. Além disso, produzia também uma sensação de formigamento em partes do corpo das pessoas que se aproximavam dela.

Foi possível produzir atrações mais intensas que antes, de modo a produzir algumas faíscas elétricas seguidas de estalos, o que possivelmente permitiu associar os fenômenos elétricos aos fenômenos atmosféricos do relâmpago e do trovão quando das tempestades. Isso trouxe novos problemas práticos e teóricos para a comunidade de intelectuais da época. Era preciso documentar e explicar todos esses novos fenômenos, exaurir as possibilidades de experimentação, recriar experimentos capazes de dar conta de apenas um desses efeitos. Assim, chegamos ao séc. XVIII, no qual os aperfeiçoamentos técnicos operados na máquina elétrica e o aparecimento de fenômenos antes não observados, aliado às alterações sociais vivenciadas tanto no continente europeu quanto nas terras colonizadas como no continente americano, no interior da África e nas terras do Oceano Pacífico proporcionam novas experiências intelectuais, sensitivas e emocionais que respingam sobre a constituição da teoria ora em tela. Sem contar as transformações sociais fomentadas pelo desenvolvimento do capitalismo e do modo de produção industrial; também temos as transformações políticas provocadas pela consolidação dos Estados Nacionais e pelas Revoluções Francesa e Industrial.

## 5.12 Questões referentes ao Texto 02

1. Dos relatos atribuídos a Tales de Mileto, no séc. VII a.C. aos saberes compilados por Gilbert no ano de 1600, diversos conhecimentos foram elaborados acerca da eletricidade e do magnetismo; mas a partir do século XVII, houve uma aceleração nos estudos de tais fenômenos. Quais as principais características dos conhecimentos elaborados em eletricidade e magnetismo até o século XVII?

2. A partir do século XVII, os estudos em eletricidade foram gradativamente acelerados. Que elementos favoreceram essa aceleração?

3. Explique como eram montados e como funcionavam os dispositivos elaborados com a finalidade única e exclusiva de se estudar os fenômenos elétricos, a saber: o versório, o perpendicular e a máquina elétrica.

4. Quando comparamos a intensidade da eletricidade produzida a partir da máquina elétrica tanto da eletricidade pelos antigos e medievais quanto pela eletricidade produzida ainda na modernidade, observa-se que aquela produzia uma intensidade maior que a intensidade destas, de modo a produzir efeitos antes não conhecidos. Diante do exposto, responda

a) Que dispositivos presentes na máquina elétrica em funcionamento permitiam a manifestação da eletricidade de modo mais intenso do que os meios de eletrização anteriores?

b) Quais os efeitos antes não conhecidos passaram a fazer parte do rol dos novos problemas a serem abarcados pelo nascente modelo teórico explicativo da eletricidade?

5. O século XVIII é conhecido como o século da eletricidade por diversos motivos, dentre eles o aprofundamento dos estudos dos efeitos secundários produzidos quando da operação da máquina elétrica. Que elementos sociais podem ter favorecido a consolidação da eletricidade como um campo de saber característico do período moderno?

Transcrição das respostas Texto 2 Dos primeiros dispositivos materiais à máquina elétrica

### 5.13 Chaves comparativas de repostas referentes às questões do Texto 2

Q	Respostas
1.	<p>Eram conhecimentos mais descritivos que explicativos, abordando as propriedades macroscópicas dos corpos sob o efeito do magnetismo ou da eletricidade, principalmente as alterações em seus estados de movimento. Além disso catalogavam também os materiais que apresentavam o comportamento elétrico ou magnético.</p>
2.	<p>O caráter enciclopédico dos conhecimentos acerca da eletricidade e do magnetismo bem como a maturação de diversos elementos culturais que favoreceram a aceitação de novas formas de pensar. Além disso, desenvolveram diversos elementos materiais com os quais os pesquisadores interagiram, produzindo e reproduzindo práticas experimentais relacionadas à eletricidade e ao magnetismo. O uso de instrumentos produziu alterações no psiquismo dos sujeitos o que por sua vez produziu aprimoramentos nos instrumentos que novamente modificou o psiquismo em um loop dialético.</p>
3.	<p><b>Versório:</b> Consiste de duas partes articuladas: um suporte fixo vertical no qual uma haste horizontal livre é sustentada, de modo que seja capaz de girar livremente, possibilitando operações de medições e de análises dos fenômenos de interesse. Ao aproximar o versório de um objeto eletrizado, um dos braços da haste metálica se aproxima desse objeto, produzindo uma rotação que cessa quando o sistema atinge o equilíbrio eletrostático.</p> <p><b>Perpendículo:</b> Artefato composto de a uma linha vertical presa na extremidade superior de um suporte fixo e tendo em sua extremidade inferior um corpo qualquer (passível de interações de atração e repulsão). Ao aproximar o perpendículo de um corpo eletrizado, a linha sofre um deslocamento angular vertical de modo que sua extremidade livre (região inferior) se aproxima do corpo eletrizado.</p>

	<p>Máquina Elétrica: constituída de uma bola de enxofre moldada em um globo de vidro, suspensa e fixada em um eixo que passava por seu centro. A bola de enxofre entrava em rotação quando uma manivela colocada numa extremidade do eixo era girada. A bola de enxofre girante era posta em contato superficial com alguns materiais e depois de um intervalo de tempo tanto a bola de enxofre quanto o material apresentavam propriedades atrativas.</p>
4.	<p>a) O globo de vidro suspenso girante diminuiu consideravelmente os atritos superficiais, o que diminuiu a perda da eletricidade para corpos presentes na vizinhança, mas que não tinham interesse no estudo do fenômeno estudado. A manivela de acionamento do globo tanto impedia o contato direto corpo humano com o globo girante quanto possibilitava um atrito intenso para os padrões do tempo de então uma vez que a rotação poderia ser feita em velocidade maior que as velocidades produzidas por fricção produzida por ação humana sem o auxílio de quaisquer instrumentos. O não de contato direto entre o globo girante e o corpo humano impedia a fuga das cargas elétricas para o solo, intensificando assim a quantidade total de eletricidade obtida a partir do uso da máquina elétrica de fricção.</p> <p>b) Com a intensa eletricidade produzida a partir do uso da máquina elétrica de fricção fenômenos antes não observados passaram a fazer parte do cotidiano dos pesquisadores em eletricidade: a produção de faíscas e luzes, produção de odores quando da operação da máquina elétrica, sensação de desconforto e dor quando do contato humano com o globo girante eletrizado, atração e repulsão de corpos relativamente massivos.</p>
5.	<p>A criação de instrumentos materiais voltados única e exclusivamente para os estudos em eletricidade, a convivência cotidiana com fenômenos elétricos não observados por serem produzidos em baixa intensidade e as transformações sociais, culturais e políticas que produziram transformações que engendraram o projeto iluminista. O uso de instrumentos simples em eletricidade alterou o psiquismo que por sua vez permitiu o aprimoramento técnico desses instrumentos que novamente</p>

	<p>altera o psiquismo em um loop dialético. A convivência com os fenômenos antes não observados possibilitou a elaboração de saberes acerca da produção de luz artificial, dos efeitos fisiológicos da eletricidade. O projeto iluminista orienta as pesquisas em Filosofia Natural pautada na experimentação e a matematização do conhecimento acerca da natureza, culminando na mecânica newtoniana, tida então como o modelo por excelência de saber, a ser seguido pela eletricidade.</p>
--	---

### Texto 3: Da máquina elétrica à Garrafa de Leyden: o modelo da eletricidade como um fluido

Os aperfeiçoamentos técnicos operados na máquina elétrica e o aparecimento de fenômenos antes não observados, aliado às alterações sociais vivenciadas tanto no continente europeu quanto nas terras colonizadas como no continente americano, no interior da África e nas terras do Oceano Pacífico proporcionam novas experiências intelectuais, sensitivas e emocionais que respingam sobre a constituição de algumas teorias no campo da eletricidade.

Assim, no séc. XVIII, o século da eletricidade, com o trabalho coletivo de diversos pesquisadores, em diferentes regiões da Europa, o conhecimento acerca da eletricidade vai se alargando, possibilitando pesquisas nas mais diferentes vertentes, por exemplo: produção de luz, raios e som, a alteração no estado fisiológico normal de um ser vivo, a alteração na qualidade do ar na vizinhança de uma máquina elétrica em operação, dentre outras.

O que viria a mudar nas formas de explicação?

Observa-se o gradativo enfraquecimento de propostas de explicações dos fenômenos elétricos e magnéticos a partir de elementos místicos, mágicos e religiosos em detrimento de explicações de cunho racionalista, mas nem por isso de menor poder criativo, vez que essas



Então, que modelo (ou modelos) teórico viria a surgir para explicar esses fenômenos? A noção de **fluidos sutis**, que seriam uma espécie de fluido imponderável,

A atividade compiladora característica da obra de Gilbert, levada a cabo por um conjunto de pensadores do séc. XVI ao XIX, favoreceu a constituição da teoria da eletricidade. Tendo uma grande expressividade na obra de Stephen Gray (1666-1736) e

outros que ampliaram a lista de materiais que se comportavam como o âmbar ao serem atritadas.



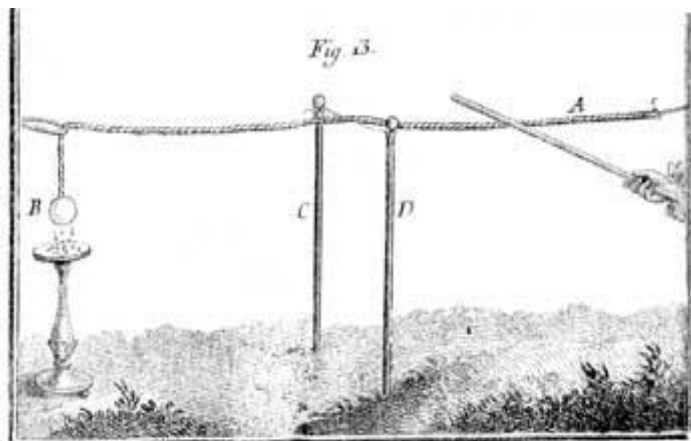
Steven  
Gray (1666-1736)

Fez o relato da existência de corpos que apresentavam a propriedade atrativa e para a existência de corpos que eram indiferentes ao atrito e não demonstravam quaisquer propriedades atrativas, classificando-os como materiais elétricos e não elétricos.

1. Os materiais elétricos ao serem atritados manifestavam propriedades atrativas, não sofrendo alterações em suas propriedades macroscópicas como cor, dureza, forma, volume e massa.

2. Os materiais não elétricos não apresentavam propriedades

Um dos maiores “desejos” do séc. XVIII foi a tentativa de transmissão de energia elétrica de um ponto para outros. Com a colaboração de Granville e Wheeler, Gray conseguiu transmitir a qualidade elétrica entre as duas extremidades do barbante, onde depois de muitos ajustes no dispositivo chegaram a uma distância de 235 metros.



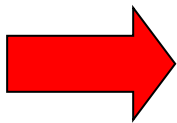
Representação de uma das tentativas de Gray de transmitir eletricidade de um local para o outro. Na figura temos um bastão de vidro eletrizado tocando em um barbante suspenso em suas extremidades e no seu terço médio por fios de seda. Os fios de seda por sua vez estão sustentados por bastões de

Em outros experimentos, usaram cabelo, resina e vidro como suportes para o barbante. Com essa modificação técnica, a intensidade da eletricidade transmitida foi maior, de modo que foi possível transmitir a eletricidade por uma distância maior. Por tentativa e erro, também conseguiram eletrizar superfícies maiores, como um mapa e uma toalha de mesa. Todas essas atividades experimentais não seriam possíveis sem a

**máquina elétrica**, vez que para realizá-las era preciso uma eletricidade de alta intensidade.

A máquina elétrica, dentre outras coisas, supera três limitações técnicas: o modo como os corpos eram eletrizados, por atrito com o emprego da força muscular humana, gerando efeitos de baixa intensidade; o não conhecimento das propriedades elétricas de alguns materiais inicialmente considerados como não elétricos, e, devido a isso, a ausência de efeitos da eletricidade no corpo humano.

Gray é um personagem que embora tenha um papel de suma relevância por seus trabalhos, não possui tanta visibilidade histórica. Diversos elementos podem senão justificar, pelo menos lançar luz sobre algumas possibilidades de respostas. A primeira delas é que Gray muito tardiamente foi inserido no contexto das pesquisas em Filosofia Natural e em Filosofia Experimental; nessa inserção pertenceu a um grupo de pesquisadores que não tinha muita representatividade política na Sociedade Inglesa de Ciências, de modo que muitos de seus trabalhos não eram publicados, não eram aprovados nas comissões e mesmo alguns trabalhos eram reinventados ou mesmo copiados.



Na construção do conhecimento científico, observa-se que elementos fora da Ciência são relevantes para sua edificação, por exemplo: fatores políticos, religiosos, econômicos, a persuasão do

Em Paris, Charles François de Cisternay Du Fay (1698-1739), membro da Academia Francesa de Ciências, a partir da década de trinta do séc. XVIII, relata diversos trabalhos em eletricidade. Ele elabora diversos experimentos acerca da produção de luz e som por eletricidade, seus efeitos fisiológicos no corpo humano, transmissão de eletricidade através de diversos corpos, inclusive em humanos.

A repulsão como um fenômeno característico das interações elétricas foi proposta por Du Fay, entre em 1732 e 1735. Para tal, admitiu a existência de dois tipos de eletricidade. Nomeou essas eletricidades de eletricidade vítrea e de eletricidade resinosa. A eletricidade vítrea seria produzida pelo vidro, cristal de rocha, pedras preciosas, cabelo de animais e lã. Já a eletricidade resinosa seria produzida em âmbar, copal, linha e papel.

Inicialmente nem mesmo o próprio Du Fay considerava a repulsão como sendo um fenômeno real. Foi depois de muito tempo maturando a ideia e se convencendo dela que propôs o seu modelo explicativo. Além do tempo de maturação da ideia, as diversas



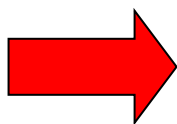
tentativas Du Fay de elaborar atividades experimentais, com vários materiais e instrumentos distintos, tiveram um papel relevante no fenômeno de natureza elétrica.



O modelo explicativo de Du Fay propõe uma eletricidade não mais associada aos fluidos sutis, mas que esta seja interpretada como sendo dois fluidos mecânicos distintos. Aqui não há uma analogia entre

Algo inquietou Du Fay (e alguns outros estudiosos na época), a interação entre dois corpos eletrizados gerava dois efeitos contrários, um deles, já conhecido, era o movimento atrativo, o outro, novidade, era o movimento repulsivo. Ou seja, tanto um corpo eletrizado com a eletricidade resinosa quanto um corpo eletrizado com a eletricidade vítrea poderiam atrair um corpo neutro, de modo que não existia uma forma de distingui-las por seus efeitos. ***Como explicar esses movimentos sem ferir o mais antigo princípio da eletricidade?***

Diante dessas inconsistências apresentadas no modelo teórico de Du Fay ***frente aos conhecimentos obtidos pela experiência***, propôs duas modificações em seu modelo teórico. A primeira delas foi a proposição de que corpos não eletrizados podem ser atraídos por corpos que passaram por processos de eletrização, independentemente da natureza da eletricidade, isto é, seja ele vítrea ou resinosa. A segunda modificação foi a proposição de que eletricidades de mesma natureza produziam repulsão e de naturezas contrárias atração. Assim, corpos que apresentavam a mesma eletricidade se repeliam e com eletricidades diferentes se atraíam.



Existem outros ramos da Ciência que não necessariamente as teorias científicas são validadas por experimentos cruciais. Queremos chamar a atenção para este fato. Por exemplo, não queremos validar ou demarcar como “ciência”, algo que somente seja edificado pelo experimento. Outras áreas, como a Astronomia, consolidam seus

Outro personagem importante que destacamos é o inglês Francis Hawksbee (1660 – 1713). Ele proporcionou a difusão das ideias contidas nos trabalhos de Gray, Du Fay e de outros pesquisadores de seu tempo, desenvolvendo pesquisas relacionadas à produção de luz a partir de fenômenos elétricos.

Por volta de 1703, com a morte de Robert Hooke, e a ascensão de Isaac Newton à direção da Sociedade Real Inglesa, Francis Hawksbee fora designado para a função de assistente de atividade experimental de Newton e, mais tarde, como o responsável pela seção experimental dessa sociedade.

Essa aproximação com Newton, por um lado proporcionou a Hawksbee uma certa notoriedade, uma relativa liberdade de ação e por outro lado exigia deste um comprometimento com todas as ações de Newton, de modo que ficou encarregado de desenvolver e apresentar diversos experimentos com o objetivo de fortalecer os conhecimentos presentes no livro **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural**, de Isaac Newton. Hawksbee decidiu quais atividades experimentais poderiam ser apresentadas, quando os trabalhos seriam publicados. Assim, como responsável pela seção de atividades experimentais também exerceu o seu poder tanto em defesa dos interesses de Newton como em defesa dos próprios interesses.

Você acha que a centralização de poderes na mão de Hawksbee facilitava ou dificultava para o desenvolvimento de estudos no campo da eletricidade? Por quê?

Assim como Gray, Du Fay e outros estudiosos, Hawksbee estudou diversos fenômenos que só no séc. XVIII foram associados à eletricidade, como a condução de eletricidade a distâncias consideráveis, a interação entre dois corpos previamente eletrizados, os efeitos fisiológicos da eletricidade em humanos, o aprimoramento técnico da máquina elétrica de fricção.

Como Hawksbee tinha uma proximidade com Newton e por isso uma facilidade de trânsito no meio intelectual inglês do início do séc. XVIII, possivelmente, no âmbito teórico, a associação da eletricidade com as ideias da mecânica dos fluidos já se insinuava em alguns experimentos e em algumas propostas de modelos explicativos. Esse trânsito facilitou o conhecimento, por exemplo, da garrafa de Leyden.



Para armazenar eletricidade na garrafa, colocava-se em funcionamento uma máquina elétrica e com um material elétrico comunicava-se o interior da Garrafa de Leyden com o material girante (bola de enxofre, bola de vidro ou cilindro de vidro), a eletricidade produzida pela máquina elétrica era conduzida par ao

Devido a uma série de limitações técnicas, grande parcela da eletricidade produzida era dissipada de diversas formas. Com a Garrafa de Leyden essas perdas eram recompensadas fazendo a máquina trabalhar mais e armazenando a eletricidade. Com a possibilidade de armazenar eletricidade fora possível produzir efeitos elétricos bem mais intensos que os efeitos da máquina elétrica.

A Garrafa de Leyden permite então intensas descargas elétricas, intensificando assim os efeitos observados quando da operação da máquina elétrica e incorporando à eletricidade novos fenômenos que antes não fazia parte do rol dos conhecimentos abarcados por essa teoria, a saber: alguns fenômenos atmosféricos.

Assim como diversos saberes elaborados em eletricidade que tiveram primeiro uma elaboração material e só depois uma elaboração teórica explicativa, a Garrafa de Leyden não tinha quaisquer elementos teóricos que a explicasse, a não ser a ideia de que a eletricidade era de fato um fluido mecânico capaz de ser confinado no interior da garrafa, diminuindo a velocidade da evaporação do fluido elétrico.

O processo de armazenamento da eletricidade na Garrafa de Leyden era efetivado com uma pessoa segurando-a, enquanto a máquina elétrica estava em operação. Acontece que, no termino dessa operação, quando a pessoa que estivesse segurando a Garrafa de Leyden tocasse na haste que comunica o interior com o exterior da garrafa, recebia uma descarga elétrica de alta intensidade.

Para superar esse efeito desagradável, um aperfeiçoamento técnico foi proposto pelos ingleses: revestir o exterior da garrafa com folha de chumbo ou folha de estanho para evitar o contato humano direto com o vidro. Desse modo, não só fora evitado o efeito fisiológico desagradável como também foi aumentado o poder de armazenamento da Garrafa de Leyden.

Da ideia da eletricidade vítrea e resinosa como duas formas de eletricidade intrinsecamente diferentes e associadas às propriedades macroscópicas dos materiais, passando pela ideia das eletricidades positiva e negativa, não associadas a quaisquer

características palpáveis dos corpos, chega-se à ideia da eletricidade como sendo dois fluidos mecânicos distintos. E, mais tarde, a teoria é simplificada pela proposição da eletricidade como um fluido único que, quando presente em desequilíbrio em um corpo, manifestava dois comportamentos elétricos diferentes.

Diversos trabalhos foram realizados, desenvolvendo métodos e técnicas de medições indiretas de grandezas associadas à eletricidade. Do séc. XVIII ao séc. XIX, o conhecimento da eletricidade sofre uma bifurcação, aparecendo uma linha mais atrelada aos efeitos da eletricidade e outra mais ligada às causas da eletricidade. Em diversos momentos esses conhecimentos se cruzavam, se confrontavam, um subsidiava o desenvolvimento do outro, até que na segunda metade do séc. XIX, eles se unificam e também se aproximam do magnetismo de modo que nas primeiras décadas do séc. XX, há finalmente uma proposição de uma teoria elétrica e magnética capaz de abarcar vários fenômenos.

A aceleração dos estudos em eletricidade é acompanhada pela aceleração no próprio devir europeu, provocado pelas transformações sociais, políticas, econômicas e culturais que grassam o continente, modificando a cosmovisão tradicional vinculada ao universo medieval em detrimento dos elementos constituintes da modernidade. Mas o que singulariza essa aceleração dos estudos em eletricidade é a capacidade humana de produzir instrumentos e interagir com eles de modo a modificar a si mesmo de tal modo a produzir uma aceleração no próprio processo de produção de artefatos.

#### **5.14 Questões referentes ao Texto 03**

1. Para muitos pesquisadores em História e Filosofia das Ciências, o século XVIII é considerado como o século da eletricidade. Diante dos elementos expostos no conjunto formado pelos dois textos anteriores e pelo presente texto, como você avalia essa afirmação? Que critérios os pesquisadores utilizaram para emitir tal afirmação?

2. A máquina elétrica foi um elemento da cultura material europeia extremamente importante para a elaboração da teoria da eletricidade nos moldes do conhecimento ordinário típico da modernidade: A respeito desse artefato, responda os quesitos abaixo

- a) Como eram realizados os procedimentos de eletrização antes do surgimento da máquina elétrica?
- b) No estudo da eletricidade, a máquina elétrica tornou possível superar quais limitações técnicas?
- c) Antes da máquina elétrica alguns efeitos não eram produzidos pelos processos de eletrização então disponíveis. Com a máquina elétrica, que efeitos secundários passaram a ser produzidos?
- d) Quais as limitações técnicas apresentadas pela máquina elétrica e também por seus aprimoramentos técnicos?

3. Sabemos que a Ciência Moderna é uma construção coletiva, delimitada no espaço geográfico europeu e em um tempo bem delimitado. Entretanto, no texto aparece em papel de destaque a figura de Gray, Du Fay e Hawksbee. Que elementos sociais, políticos e econômicos você pode indicar no século XVIII que possibilitaram o trabalho desses pesquisadores? Quais os aspectos originais das pesquisas de cada um desses três?

4. O texto sugere uma relação personalista entre Hawksbee e Gray. Que elementos no texto evidenciam que o destaque de um desses dois pesquisadores em detrimento do outro segundo o critério político das relações sociais?

5. No contexto contemporâneo as relações políticas e sociais interferem na produção de conhecimentos científicos? Se sim, de que modo? Se não, que elementos interferem na produção de conhecimentos científicos?

6. A atração elétrica desde há muito tempo já fora observada e registrada pela tradição greco-romana, mas a repulsão, embora possivelmente já observada, não era explicada por causas elétricas, antes era vista como uma anomalia ou uma perturbação no ambiente devido o movimento do ar. Como e por que a repulsão foi interpretada como um fenômeno efetivamente elétrico

7. Explique de modo genérico o modelo teórico explicativo proposto por Du Fay para dar conta dos processos de atração e de repulsão elétrico, apontando seus pontos coerentes e as suas inconsistências teóricas.

8. A garrafa de Leyden foi um artefato elaborado para suprir as limitações técnicas da máquina elétrica. Explique como esse artefato era montado e quais foram os aperfeiçoamentos técnicos que esse artefato sofreu indicando que limitações tais aperfeiçoamentos se propunham a superar.

9. Segundo o texto, o que proporcionou a aceleração nas pesquisas em eletricidade no século XVIII?

### 5.15 Chaves comparativas de repostas referentes às questões do Texto 3

Q	Respostas
1.	A uma gradativa complexidade adquirida pelos modelos explicativos da eletricidade, abrangendo assim diversas classes de fenômenos antes não observados ou não explicados por esses modelos. A elaboração e uso de instrumentos simples voltados exclusivamente para o estudo da eletricidade. Desenvolvimento da Filosofia Natural e da Filosofia segundo as exigências do Iluminismo.
2.	<p>a) Antes do uso da máquina elétrica de fricção, os corpos eram eletrizados atritando a superfície de um corpo na superfície de outro corpo, utilizando força muscular humana de baixa intensidade limitando sobremaneira os resultados dessa atividade de modo a produzir apenas o efeito da atração ou repulsão de corpos de massas diminutas.</p> <p>b) Supera três limitações técnicas: o modo como os corpos eram eletrizados, por atrito com o emprego da força muscular humana, gerando efeitos de baixa intensidade; o não conhecimento das propriedades elétricas de alguns materiais inicialmente considerados como não elétricos, e, devido a isso, a ausência de efeitos da eletricidade no corpo humano. Antes da elaboração desse dispositivo, além da baixa intensidade dos efeitos produzidos pela eletricidade, perdas consideráveis das propriedades elétricas ocorriam devido o não conhecimento das propriedades dos materiais e da ausência de conhecimentos de como manusear corpos eletrizados.</p> <p>c) O efeito luminoso, o efeito fisiológico, o efeito químico, o efeito térmico e a produção de estalos.</p>

	<p>d) Substituição do globo girante por um cilindro, a colocação de escovas metálicas para retirar o excesso da eletricidade do objeto girante. Embora a máquina elétrica tenha possibilitado a produção de eletricidade em intensidade então desconhecida, essa eletricidade era transiente, de modo que a sua efemeridade impossibilitava um estudo de alguns efeitos em escala de tempo considerável. A eletricidade obtida pela máquina elétrica tinha curto tempo de existência, sendo dissipada de modo inexplicável. Já era sabido que para se analisar os efeitos da eletricidade em alguns materiais era preciso isolá-los em relação ao solo e em relação a outros materiais.</p>
b)	<p>O século XVIII foi profundamente marcado pelas atividades econômicas de exploração do continente americano, pelas navegações no oceano atlântico na empresa nomeada como mercantilismo. Rivalizavam como potências econômicas europeias a Inglaterra e a França. O excedente da acumulação primitiva de capital permitiu a criação e a manutenção de um corpo de profissionais, em geral oriundos das classes sociais mais abastadas, mantidos pelo estado, como no caso inglês, ou pela iniciativa privada, como no caso francês. Esses profissionais se organizavam nas Sociedades Reais de Ciências e pesquisavam diversos temas relacionados ao conhecimento humano nos moldes da ciência moderna com visando otimizar os mecanismos de obtenção de capital: conhecer para dominar. As sociedades de ciência inglesa e francesa simbolizam a rivalidade e as disputas engendradas por essas duas nações tanto no plano econômico como no plano intelectual.</p>
c)	<p>Segundo alguns relatos escritos, Gray era um pequeno comerciante e artesão do ramo da tinturaria de tecido que só tardiamente se ocupou do estudo da eletricidade ao passo que Francis Hawksbee, mesmo sem muito poder aquisitivo, tinha certa mobilidade no interior da Academia Real Inglesa de Ciências, por ser um assistente de experimentação de Isaac Newton. Por essa relação política, Hawksbee conseguiu alguns cargos dentro da sociedade sendo que um destes foi o de revisor dos textos a serem publicados pela revista <b>Philosophical Transactions</b>. Assim muitos textos enviados por Gray para a apreciação</p>

	<p>da Sociedade Real não foram publicados ou tardiamente publicados e muitos dos conhecimentos apontados por Gray em seus textos também foram objeto de estudos de Hawksbee.</p>
d)	<p>Interferem de modo direto vez que o conhecimento científico é uma produção humana em um dado tempo e espaço, sendo parte integrante e indissociável da cultura do grupo social que a produz. No caso ocidental contemporâneo, o conhecimento científico é marcado pelas relações de capital, onde empresas financiam determinadas pesquisas, e pelas políticas estratégicas de nações com vistas a alcançar e defender um certo modelo de ciência para o país a que se destina essa política de desenvolvimento científico.</p>
e)	<p>A repulsão elétrica, embora existindo como fenômeno natural ao longo do tempo que se perde na cronologia, ou não era observada ou interpretada como um efeito colateral. As elaborações explicativas com o propósito de dar conta do fenômeno repulsivo gravitavam em torno de três concepções fundamentais. A primeira delas e talvez a mais antiga é que a aparente repulsão seria devida a um fluxo de ar que afasta os corpos leves do âmbar atritado, não tendo quaisquer relações com os fenômenos elétricos.</p> <p>Uma segunda explicação pondera que a repulsão seria aparente e devido a uma atração causada por outros corpos vizinhos. O corpo leve seria atraído por outros corpos vizinhos que de alguma maneira foram carregados e o âmbar estaria atraindo o corpo leve mais fracamente do que os corpos vizinhos carregados.</p> <p>Outra possibilidade de explicação admitia que o fenômeno não seria uma repulsão de fato, mas sim uma colisão mecânica, onde o corpo que era inicialmente atraído pelo âmbar, colidia com ele, sendo então refletido de volta para longe dele:</p> <p>A repulsão como um fenômeno característico das interações elétricas foi proposta por Du Fay, entre em 1732 e 1735 com a proposição de uma teoria formal para explicar o sistema Atração-Contato-Repulsão, por demais relatado em atividades experimentais. Para tal, admitiu a existência de dois tipos de eletricidade, a eletricidade vítrea e a eletricidade</p>



	<p>resinosa. Inicialmente nem mesmo o próprio Du Fay considerava a repulsão como sendo um fenômeno real. Foi depois de muito tempo maturando a ideia e se convencendo dela que propôs o seu modelo explicativo. Além do tempo de maturação da ideia, as diversas tentativas Du Fay de elaborar atividades experimentais, com vários materiais e instrumentos distintos, tiveram um papel relevante na maturação de seu psiquismo no que tange à pensar a repulsão como um fenômeno de natureza elétrica.</p>
f)	<p>O modelo explicativo de Du Fay, mais consistente com o projeto de ciência moderna que os modelos de seus antecessores, propõe uma eletricidade não mais associada, por analogia, aos fluidos sutis, mas que esta seja interpretada como sendo de fato dois fluidos mecânicos distintos, com todas as propriedades atribuídas aos fluidos pela mecânica clássica. Como ponto positivo desse modelo podemos citar que ele possibilitou a explicação de uma grande quantidade de fenômenos elétricos nos moldes da ciência moderna. antes não explicados e a explicação do mecanismo ACR (atração, contato e repulsão); lançando as bases para os princípios da atração e repulsão de corpos eletrizados.</p> <p>Segundo Du Fay, há duas espécies de eletricidade, uma responsável pelo comportamento atrativo e outra pelo comportamento repulsivo, mas o comportamento repulsivo só era verificado quando do sistema (ACR). Não bastasse essa limitação da manifestação do comportamento repulsivo, tanto um corpo eletrizado com a eletricidade resinosa quanto um corpo eletrizado com a eletricidade vítrea poderiam atrair um corpo neutro, de modo que não existia uma forma de distingui-las por seus efeitos. Além disso, a interação entre dois corpos eletrizados gerava dois efeitos contrários, um deles, já conhecido, era o movimento atrativo, o outro, novidade, era o movimento repulsivo.</p>
g)	<p>É um artefato montado com uma garrafa de vidro, parcialmente cheia de água e contendo uma haste de metal que comunica o interior da garrafa ao exterior através da boca da garrafa. Para armazenar eletricidade na garrafa, colocava-se em funcionamento uma máquina elétrica e com um material elétrico comunicava-se o interior da Garrafa de Leyden com</p>

	<p>algum corpo eletrizado e a eletricidade era conduzida para o interior da Garrafa de Leyden, lá permanecendo por horas, dias ou mesmo meses. Esse armazenamento era efetivado com uma pessoa segurando a garrafa de modo que, no término dessa operação, se a pessoa tocasse na haste que comunica o interior com o exterior da garrafa, recebia uma descarga elétrica de alta intensidade. Para superar esse efeito foi proposto revestir o exterior da garrafa com folha de chumbo ou folha de estanho para evitar o contato humano direto com o vidro. Com isso, também foi aumentado o poder de armazenamento da Garrafa de Leyden. Para aumentar ainda mais a capacidade de armazenamento, foram aplicadas folhas de estanho tanto na face interna quanto na face externa da garrafa. Substituindo o estanho pela prata o poder de armazenamento aumentou ainda mais. Depois disso a garrafa foi usada sem água e com maior capacidade de armazenar eletricidade.</p>
h)	<p>A aceleração dos estudos em eletricidade é acompanhada de perto pela aceleração no próprio devir europeu, provocado pelas transformações sociais, políticas, econômicas e culturais que grassam o continente europeu, modificando a cosmovisão tradicional vinculada ao universo medieval em detrimento dos diversos elementos constituintes da modernidade. Mas o que singulariza essa aceleração dos estudos em eletricidade é a capacidade humana de produzir instrumentos e interagir com eles de modo a modificar a si mesmo de tal modo a produzir uma aceleração no próprio processo de produção de artefatos.</p> <p>A essa altura, graças à consolidação da mecânica dos fluidos como saber constituinte da Mecânica Clássica e à elaboração da Garrafa de Leyden, a eletricidade ganha um modelo teórico no qual se inspira para encontrar o seu caminho. Se antes a eletricidade estava associada à ideia dos fluidos sutis pela ausência de alguma base material na qual se pudesse edificar quaisquer modelos explicativos, agora a eletricidade era encarada como um fluido mecânico real, material e plausível de operações matematizadas de medições e quantificações.</p>

#### **Texto 4: Da Garrafa de Leyden à pilha voltaica: uma teoria constituída sem uma fundamentação em princípios gerais**

---

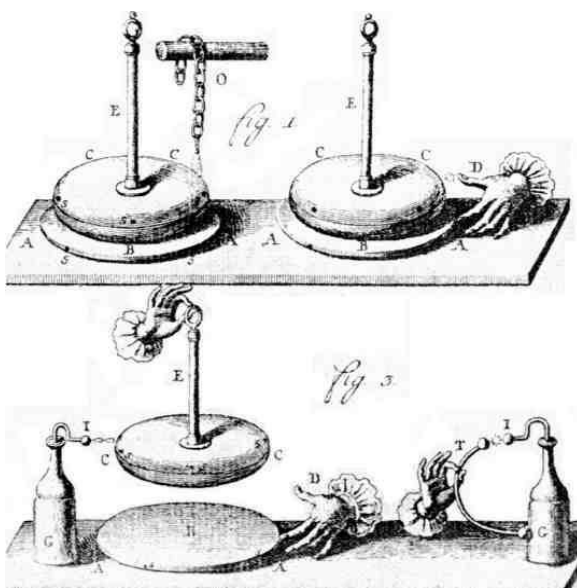
Entre os séculos XVIII e XIX, as pesquisas em eletricidade foram elaboradas com a máquina elétrica para a produção e a Garrafa de Leyden para o armazenamento da eletricidade. Com esses dois artefatos, os efeitos antes não produzidos pelos processos de atrito com uso de força muscular humana ou produzidos em baixa intensidade com o uso da máquina elétrica, eram produzidos de modo mais intenso e duradouro.

Em uma longa duração, a eletricidade deixou de ser um mistério, sobre o qual se sabia pouco para ser objeto de grande interesse, sendo um importante elemento pertencente à ciência moderna. Mas no século XVIII, mesmo incorporando diversos saberes, explicando uma diversificada gama de fenômenos; quase não tinha aplicação prática e nem princípios gerais nos quais poderia se fundamentar. Um importante passo nessa direção se deu com a incorporação dos fenômenos atmosféricos quando de tempestades à teoria da eletricidade.

Também foi estudada a indução elétrica, uma alteração das propriedades de movimento de um corpo quando este era aproximado de um corpo eletrizado sem, contudo, nele tocar. Diversos estudiosos já haviam se debruçado sobre o problema. Mas é com uma segunda ou terceira geração de eletricitistas que o problema ganha modelos explicativos, possibilidades de medições e quantificações de grandezas bem como a elaboração de diversos artefatos materiais que favoreceram o aprofundamento dos estudos. Esses elementos aproximaram os modelos explicativos da eletricidade com os modelos matematizados da Mecânica Clássica, tida como o padrão a ser seguido como conhecimento moderno.

A matematização se inicia com a quantificação da intensidade dos fenômenos atrativos ou repulsivos, da relação entre a distância dos corpos em interação e a intensidade desta. Diversos pesquisadores já observavam que nos processos de transmissão, à medida que as porções do fio de barbante através do qual a eletricidade era transmitida se afastavam da fonte da eletricidade, menos intensos eram os efeitos, indicando que as propriedades elétricas dependiam inversamente da distância.

**A incorporação dos saberes em eletricidade à cosmovisão do pesquisador europeu em Filosofia Natural e Experimental, com crescente carga de abstração e sintetização desses saberes, abarcando diversos fenômenos antes tidos como não elétricos;**



Em 1763 o sueco Johan Carl Wilcke elabora o eletróforo: um disco grande (B) coberto com lacre ou resina e outro disco menor (C) com uma alça de isolamento no centro. Esses discos eram colocados simetricamente na vertical, com o disco maior apoiado sobre uma plataforma isolante (A), para que a eletricidade não fosse transmitida para a sua vizinhança, o disco menor é suspenso. Ao eletrizar o lacre ou a resina e aproximar um disco do outro, percebia-se um movimento desse disco maior para cima. Na parte inferior, um disco eletrizado por contato com a garrafa de Leyden é aproximado do disco a ser eletrizado, provocando indução. As se tocar no disco não eletrizado, ele manifesta as propriedades elétricas permanentemente, mesmo sem ter sofrido quaisquer atrito ou contao

O eletróforo oferece uma reestruturação do pensamento acerca da eletricidade por duas implicações básicas:

- Inauguração de nova forma de eletrizar corpos, sem contatos ou atritos entre eles. Ao aproximar um disco do outro, estes se atraíam, ao afastá-los a propriedade elétrica deixava de ser manifestada, com um toque no disco a propriedade deixava de ser transitória.
- Mudança teórica e conceitual mediada pela interação com o eletróforo: Na segunda metade do séc. XVIII, a eletricidade era tida como dois fluidos mecânicos e uma grande classe de fenômenos era satisfatoriamente explicada a partir dessa elaboração conceitual, sendo que para a ocorrência da eletrização era preciso que o fluido fosse

transferido de um corpo para outro e isso só era possível por contato ou por atrito entre os corpos.

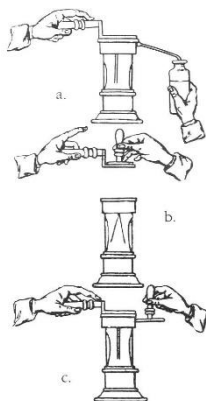
Assim, o modelo da eletricidade como dois fluidos apresenta uma fragilidade teórica: é possível eletrizar corpos sem que houvesse quaisquer contatos entre eles. Além disso, outras dificuldades teóricas foram surgindo à medida que os sujeitos interagiam com os artefatos elaborados para se estudar a eletricidade.

Em 1787 Abraham Bennet propõe um artefato muito sensível à eletricidade e que operava por indução, o **eletroscópio de folhas**. Seu uso foi tão difundido no espaço (continente europeu) e no tempo que diversos livros didáticos de Física possuem seções destinada a ele. No mesmo tempo, apresenta o **dobrador elétrico**, constituído por três placas metálicas distintas, uma delas é montada na parte superior de um eletroscópio e as outras duas são móveis, com alças de manuseio para preservar a eletricidade nelas contidas. O dobrador elétrico obtém uma grande eletricidade a partir de uma quantidade bem menor.



Eletroscópios de folhas de ouro de Bennet.

**Réplicas históricas dos eletroscópios.** Construídos com folha de ouro delgada, retangular, apoiada, pelo seu centro, na extremidade inferior de uma haste metálica, de modo que as extremidades da folha ficavam voltadas para baixo, em contato entre si. Para não interação com a sua vizinhança, esse sistema era montado no interior de uma garrafa de vidro vedada e a extremidade superior da haste metálica estava na parte externa da garrafa. Aproximando um corpo eletrizado da parte superior da haste metálica, as extremidades da folha de ouro se afastavam.



a) A eletricidade é posta no sistema constituído pela placa presa ao eletroscópio e pela placa central. Depois, a placa central é afastada do eletroscópio

b) As folhas do eletroscópio se separam. A placa superior, usada como eletróforo, é posta sobre a placa central e tocada pelo operador. Depois disso, uma cópia invertida da eletricidade na placa central aparece na placa superior

c) Quando as três placas são justapostas no eletroscópio e tocadas pelo operador, a eletricidade na placa central e no eletroscópio são duplicadas.

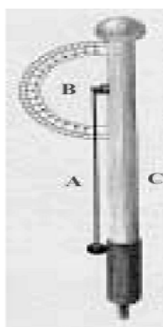
O dobrador elétrico trouxe dificuldades ao modelo da eletricidade como dois fluidos mecânicos, pois estes deveriam atender às condições exigidas pelas equações de Bernoulli, que exigiam a conservação da massa do fluido. A quantidade total de fluido presente em um dado recipiente deveria ser constante. Com o artefato, dobrava-se a eletricidade, sem quaisquer fontes de onde se tirar o fluido elétrico para alimentar o eletroscópio. O modelo da eletricidade como dois fluidos carecia então de uma revisão.

**Eletroscópio:** indica se um corpo está eletrizado. Exemplo: pêndículo e versório.

**Eletrômetro:** é um eletroscópio com uma escala graduada; indica se um corpo está eletrizado e fornece informações quantificadas de grandezas físicas (uma distância ou um ângulo) associadas aos fenômenos elétricos em questão



**Os pensadores desse tempo realizavam diversas operações de medições sem, contudo, terem uma ideia clara do que se estava medindo e por qual motivo as medidas apresentavam os valores tabulados.**



Eletrômetro de quadrante.

O eletrômetro quadrante era constituído de uma esfera suspensa no centro de um arco graduado. Ele fornecia um valor angular para deslocamento da esfera quando esta interagiu, por indução, com um corpo eletrizado posto em sua vizinhança. Esse artefato é um aperfeiçoamento técnico do eletrômetro de Richmann, este por sua vez era composto apenas pelo transferidor conectado a uma linha. O aperfeiçoamento se deu com a colocação da esfera na extremidade da linha, o que melhorou consideravelmente o desempenho do eletrômetro, vez que o formato esférico dificultava a perda da eletricidade.

Le Roy e d'Arcy, na primeira metade do séc. XVIII, propuseram o eletrômetro-aerômetro<sup>72</sup>, instrumento capaz de relacionar uma força mecânica de equilíbrio de um corpo imerso em fluido com o seu equivalente elétrico. Era constituído de um corpo capaz

<sup>72</sup> O termo aerômetro faz referência a instrumentos utilizados para se determinar a massa ou a densidade de gases confinados em recipientes rígidos, mas logo também passou a designar as medidas de densidades de líquidos em relação ao ar ( $d \approx 1,2 \text{ g/L}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

de flutuar, posicionado na extremidade de uma haste, sendo que na outra extremidade se colocava um prato metálico. O sistema era submerso na água, de modo que só o prato ficava visível. Ao aproximar desse sistema um segundo prato, ligado a uma máquina elétrica, por indução, o aerômetro emergia. Colocando-se pesos sobre o prato, conseguia-se restituir o instrumento à sua posição original, proporcionando uma correspondência matemática e física entre a força peso e a interação elétrica.

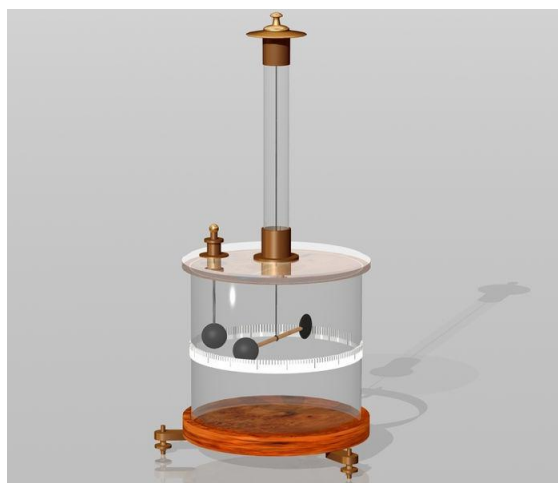
É nesse contexto que Coulomb propõe uma relação matemática para a ideia de força elétrica como sendo esta proporcional ao inverso do quadrado da distância entre dos corpos que interagem eletricamente. Uma forte correlação analógica com a interação gravitacional.

A gravidade, a eletricidade e o magnetismo possuem uma modelização a partir do inverso do quadrado da distância. Essas duas últimas modelizações foram elaboradas por analogia com a primeira. Diversos fenômenos são explicados a partir dessas modelizações, mas ainda não há uma explicação plausível, fundamentada em elementos materiais consistentes capazes de abarcar a factualidade dessas leis!!!



Mario Bunge

Na constituição de uma teoria física, historicamente, por falta de modelos mentais a partir dos quais seja possível pensar o objeto a ser apreendido e suas relações com os outros objetos já conhecidos, é frequente lançar-se mão do pensamento analógico, isto é, realizar operações mentais de aproximações sucessivas a partir do background à disposição e que constitui outras teorias já



A balança elétrica de torção: a) fio suspenso na vertical, fixo na sua extremidade superior e com uma haste horizontal na sua extremidade inferior. b) haste com duas esferas metálicas em suas extremidades. c) garrafa de vidro para evitar as perturbações devido aos movimentos de massas de ar e demais efeitos atmosféricos. d) escala graduada, ao longo de toda a circunferência dessa garrafa, capaz de quantificar o deslocamento das esferas presas à haste. e) esfera interagente colocada na vizinhança do sistema.

Quando as esferas eram eletrizadas, elas se deslocavam ao longo do plano representado pela haste metálica, de modo a se ter uma aproximação ou um afastamento das esferas da haste em relação a outra esfera, segundo a natureza da eletricidade presente na atividade. A partir desses deslocamentos é possível se obter a dependência do movimento em relação ao inverso do quadrado da distância entre as esferas

Por volta de 1781 Lavoisier consegue eletrizar líquidos, convertendo-os em gases, indicando que a eletricidade não seria uma propriedade somente de corpos sólidos. As propriedades magnéticas do cobalto, do bismuto e antimônio foram relatadas em 1778 por Sebald Justin Brugmans da Holanda. Diversos conhecimentos dessa natureza foram gradativamente incorporados a um corpus de saber que veio a constituir a eletroquímica.

O ianque Benjamin Franklin (1706-1790), da Filadélfia, foi uma pessoa que teve uma fama construída historicamente tanto por seu envolvimento político com o processo de emancipação da colônia britânica quanto por sua relação com os estudos em eletricidade. Com fortes relações com a Inglaterra, elaborou diversos refinamentos conceituais na teoria, reinterpretando o modelo da eletricidade como fluido, e propôs procedimentos práticos que permitiram correlacionar os fenômenos atmosféricos quando das tempestades (raio, relâmpago e trovão) com o seu novo modelo da eletricidade.

O médico e naturalista londrino William Watson (1715-1787); já havia proposto que a eletricidade seria constituída por apenas um fluido. Ideia desenvolvida por Benjamin Franklin, que forneceu uma base material, a partir de procedimentos experimentais capazes de sustenta-la.

Quando uma garrafa de Leyden é carregada, para garantir uma maior eficácia do procedimento, reatou que o revestimento externo deve ser conectado ao solo ou a algum outro corpo equivalente. Um fio de linho, suspenso perto do revestimento externo de uma garrafa de Leyden carregada, não era afetado até que o equilíbrio fosse perturbado, trazendo um dedo próximo ao corpo metálico conectado ao revestimento interno. Franklin defendia que a eletricidade mantida por uma Garrafa de Leyden estava no vidro e não nos



revestimentos ou na água. As paredes internas e externa da garrafa apresentavam a mesma quantidade de fogo elétrico e que este não atravessa a parede da garrafa.

Ele defendeu esse enunciado a partir de uma atividade na qual usou uma garrafa onde a água formava o revestimento interno. Quando a água foi despejada, ele percebeu que a água não apresentava quaisquer propriedades elétricas. Ao encher a garrafa com água fresca, a garrafa foi descarregada. Franklin realizou experimentos semelhantes usando placas de vidro com revestimentos removíveis, refinando as elaborações conceituais acerca da ideia da eletricidade como sendo um fluido único.

Ora, já fazia parte do conhecimento ordinário da cultura intelectual europeia típica do séc. XVIII o fato de que ao se atritar dois objetos específicos, como o vidro e um pedaço de pano, ambos apresentavam a propriedades de atrair corpos. Como uma possível explicação para esse fenômeno Franklin supôs que o vidro recebeu uma quantidade de eletricidade de mesma intensidade que a quantidade de eletricidade recebida pelo pano, mas oposta em espécie. Supôs também que todos os corpos continham eletricidade e que, quando duas substâncias diferentes são esfregadas, uma recebe um excesso de eletricidade e a outra uma deficiência. A partir dessas suposições, ele argumentou ainda que havia apenas um tipo de eletricidade, em vez de dois, como Du Fay e outros supunham. Como já fora problematizado anteriormente Du Fay e outros propunham a ideia de dois fluidos diferentes e um corpo que não manifestava propriedades de atração ou repulsão tinha as mesmas quantidades desses dois fluidos, de modo que a eletrização seria um desequilíbrio nessas quantidades

Para explicar a atração e a repulsão elétrica, Franklin propôs que a eletricidade sempre repele a si mesma, ao passo que atrai a matéria que a retém; de modo que, um corpo com excesso de eletricidade repele um corpo com excesso de eletricidade e um corpo com excesso de eletricidade atrai um corpo com deficiência de eletricidade. Assim, um corpo seria eletrizado de uma forma pelo excesso do fluido e de outra pela ausência desse fluido. Franklin foi o primeiro a supor que a eletricidade total seria conservada, tendo como desdobramento a ideia posterior que a carga elétrica não poderia ser criada ou destruída.

Para dar corpo à sua da eletricidade como um único tipo de fluido, Franklin propôs um conjunto de diversas experiências, sendo que em uma delas duas pessoas se posicionavam em plataformas isoladas. Atrita-se o pano no vidro de modo que estes se eletrizam, uma pessoa toca no pano enquanto a outra toca no vidro. Quando essas duas pessoas aproximaram suas mãos, uma forte faísca passou entre a distância entre os dedos

das duas pessoas e ambas são completamente descarregadas, mostrando que as eletricidades se neutralizaram. Outra demonstração do mesmo efeito foi feita pendurando uma bola de cortiça entre dois corpos metálicos de pequenas dimensões conectados aos revestimentos interno e externo de uma garrafa de Leyden. A bola vibrou entre os dois corpos metálicos até a garrafa de Leyden se descarregar completamente, de modo que os revestimentos da garrafa ficaram neutros.

Assim, a partir das proposições de Franklin de 1747, os intelectuais europeus passaram a conviver de modo conflituoso com dois modelos explicativos que pretendiam dar conta dos fenômenos elétricos: o modelo do fluido único e o modelo dos dois fluidos distintos. Esse conflito só foi atenuado na primeira metade do séc. XX, com a proposição da ideia de uma partícula chamada elétron.

Tanto no caso do modelo da eletricidade como um fluido único quanto no modelo da eletricidade como dois fluidos distintos, os fluidos da eletricidade eram tinham massa, inércia, elasticidade e demais propriedades mecânicas dos fluidos clássicos. Nos dois casos também podemos encontrar elementos do que viria a ser no futuro o princípio da conservação da carga elétrica, vez que nelas não havia criação do fluido elétrico.

Também tanto um modelo quanto o outro apresentavam diversas dificuldades teóricas seja por não conseguir elaborar explicações satisfatórias para um dado fenômeno seja por manifestar uma fragilidade na explicação proposta para uma dada característica para uma classe geral de fenômenos. Um fenômeno que poderia ser satisfatoriamente explicado a partir de um modelo tinha dificuldades de ser explicado pelo outro, de modo que esses dois modelos coexistiram nos séculos XVIII, XIX e início do séc. XX.

As eletrizações por atrito, contato e indução já eram um saber constituído, sendo que facilmente os dois modelos davam conta de explicar a eletrização por contato ao passo que os processos de indução elétrica apresentavam diversas dificuldades em suas explicações. Quanto aos processos de eletrização por atrito, havia a dificuldade de se explicar porque o atrito eletrizava uns corpos e outros não e mesmo ainda que um dado processo um mesmo corpo estava com a eletricidade de um tipo e em outro processo apresentava eletricidade de outra natureza.

O modelo do fluido único apresentava uma fragilidade de explicação do fenômeno da repulsão entre corpos com deficiência de eletricidade, vez que pela teoria a deficiência de eletricidade produziria uma atração. Por volta de 1759, o filósofo natural alemão Franz Ulrich Theodosius Aepinus (1724-1802), conhecedor do trabalho de

Franklin, propôs a ideia de que quando dois corpos possuem ausência de eletricidade, a matéria comum repele a si mesma.

Aepinus, dentre outras coisas, no período de 1755 a 1759, realizou uma série de estudos sobre indução e polarização elétricas, explicitando seus resultados em um livro publicado em 1759. Além disso, inspirado no modelo do fluido para a eletricidade tentou um modelo análogo para o magnetismo.

O conflito entre os modelos teóricos mudou de direção quando da incorporação dos fenômenos atmosféricos à teoria da eletricidade como um fluido único. Não só isso, como também a constituição de uma nova ordem mundial, onde o eixo econômico se desloca do Mediterrâneo para o Atlântico, favorecendo economicamente a Inglaterra em detrimento da França, favorece a produção de ciência nos moldes moderno do empirismo inglês.

No ano de 1753, Franklin montou um experimento no qual um sino acionado por eletricidade atmosférica. Ele pôs uma haste metálica isolada na parte superior de um imóvel, conectada a um dispositivo no qual havia dois sinos, com um chocalho levemente suspenso e isolado entre eles. Cada sino foi colocado nas extremidades da haste, sendo que um deles ficou na parte superior em contato com o ar e o outro na parte inferior. Quando a haste ficava suficientemente eletrizada, o badalo era atraído primeiro para um sino e depois para o outro.

Com esse dispositivo, a crença de longa duração de que o relâmpago e o trovão tinham uma natureza elétrica encontrou elementos materiais capazes de fortalecê-la como conhecimento científico moderno. Além disso, esse procedimento experimental inaugura uma nova rotina de realização de diversos experimentos nos quais se buscava relacionar os conhecimentos disponíveis de então sobre eletricidade com os fenômenos atmosféricos observáveis, principalmente quando das tempestades com raios relâmpagos e trovões.

Em um desses experimentos, Franklin conseguiu carregar uma garrafa de Leyden a partir de nuvens de tempestades, para isso, montou um suporte de madeira no qual pôs uma longa haste metálica posicionada verticalmente, sendo que a extremidade inferior dessa haste ficava no interior de uma garrafa de Leyden e a sua extremidade superior em contato com a atmosfera. Ao fim de uma tempestade com relâmpagos e trovões a garrafa estava eletrizada. Na França, Thomas François Dalibard e Delor, por meio de hastes finas e longas conseguiram eletrizar garrafas de Leyden a partir das nuvens de chuva, reproduzindo o experimento de Franklin e obtendo resultados semelhantes. Cantor e

Wilson, na Inglaterra, também se propuseram a reproduzir tais experimentos chegando também a resultados semelhantes.

Franklin propôs que havia uma similaridade entre o comportamento de algumas nuvens e o comportamento de alguns corpos eletrizados, tanto com eletricidade de uma natureza como de outra natureza e que uma nuvem poderia mudar a natureza de sua eletricidade. Seus estudos também indicaram que a eletricidade da atmosfera possui alta intensidade e que esta não ocorre somente em dias chuvosos como também pode se manifestar em dias ensolarados e com nuvens brancas.

O francês Pierre Lemonnier (1675-1757) e o italiano Giovanni Battista Beccaria (1716-1781), entre 1752 e 1753, realizaram experimentos em eletricidade atmosférica, usando pipas e hastes metálicas. Eles conseguiram eletrizar garrafas de Leyden na maioria das vezes, principalmente com nuvens de chuva. Geralmente tinham pouco sucesso durante a noite, mas aumentava muito depois do nascer do sol e diminuía após o pôr do sol. Beccaria publicou o livro **Treatise Dell Elettricismo Naturale ed Artificiale** em 1753.

Alguns estudiosos observaram que o ar na vizinhança de uma nuvem também se eletrizava. Em alguns experimentos era possível demonstrar que o ar em uma sala adquiria o mesmo tipo de eletricidade que um corpo carregado naquela sala e que a divergência de dois fios ligados ao corpo carregado diminuía gradualmente conforme o ar se tornava eletrificado, mesmo que a carga no corpo fosse mantida por uma máquina elétrica. Beccaria também desenvolveu alguns estudos relacionando a eletricidade com a água, onde foi capaz de produzir faíscas sob a água, sendo que estas eram acompanhadas pela produção de bolhas.

As atividades experimentais vão se tornando gradativamente mais complexas, mais refinadas, incorporando fenômenos antes não explicados. Essas novas posturas tanto no plano material como no plano da elaboração conceitual denunciam uma mudança qualitativa na percepção dos fenômenos elétricos patrocinada dentre outras coisas pela interação dos sujeitos com os instrumentos usados nos estudos em eletricidade.

Assim como a novidade da garrafa de Leyden, a maioria dos procedimentos experimentais propostos por Franklin fora reproduzidos em diversos países, principalmente aqueles relacionados à eletricidade atmosférica. Em uma das reproduções desses experimentos Georg Richmann (1711-1753) morreu

Principalmente depois do séc. XVIII, diversos artefatos inéditos foram fabricados com a capacidade de proporcionar, por meios químicos, eletricidade de modo constante.

As quantidades de eletricidade disponíveis das várias máquinas elétricas em uso e de seus aperfeiçoamentos eram mínimas, não apresentavam os efeitos químicos, térmicos e magnéticos característicos da atividade elétrica, eram difíceis de observar, embora todos eles, possivelmente, tivessem sido observados com baixa intensidade. Possivelmente, em numerosas ocasiões, fenômenos elétricos foram observados, mas não reconhecidos e nem explicados como tais, e somente depois da recorrência deles é que foram incorporados à teoria nascente. Tal foi o caso das observações de Galvani e Volta.

Do final do séc. XVIII até o início séc. XX havia três *corpus* de saber distintos e relativamente independentes, produzindo diversos conhecimentos que na primeira metade do século XX serão sintetizados na então teoria do eletromagnetismo: a eletricidade, o galvanismo e o magnetismo. O que antes era entendido como eletricidade está muito próximo do que hoje é entendido como teoria eletrostática, já o galvanismo tinha uma híbrida relação entre o que é conhecido atualmente como química e como eletrodinâmica, e o magnetismo era um corpus de saber independente mas que em um momento ou em outro tinha suas correlações analógicas seja com a teoria da eletricidade seja com a mecânica clássica.

Paralelo à constituição da teoria da eletricidade, estudos sobre as propriedades elétricas e magnéticas de alguns materiais foram elaborados do séc. XVI até o séc. XIX. Eles estudos se iniciam com a compilação de materiais que apresentavam ou não propriedades elétricas quando atritados, culminando com a proposição da série triboelétrica. Com o aprofundamento desses estudos teremos a constituição de um novo corpus de saber. Assim temos que os estudos de Lavoisier, por volta de 1781, indicaram que a eletrização poderia ocorrer tanto em sólidos como em líquidos, onde esses últimos eram convertidos em gases. Priestley, em seu livro **A História e Estado Atual da Eletricidade**, identifica algumas propriedades elétricas importantes no carbono.

O sueco Johann Georg Sulzer, publicou em Berlim, em 1762, um trabalho relatando que metais como prata e chumbo quando mantidos juntos na língua, produziam um sabor como o sulfato de ferro, e quando eram colocados na língua, um em cima e outro embaixo nenhum sabor era sentido até que as bordas externas dos metais entrassem em contato.

Por volta de 1753, o professor de anatomia, cirurgia e medicina da Universidade de Gottingen, Albrecht von Haller, publica um texto sobre a teoria da sensibilidade e da irritabilidade, na qual propunha que a sensibilidade era uma propriedade intrínseca às terminações nervosas ao passo que a irritabilidade estava associada aos músculos. Nesse

texto Haller desenvolve as ideias de seu professor Herman Boerhaave (1668-1738), que defendia que o elemento vital seria fluido sutil ou espírito animal, com propriedades específicas e natureza material, mesmo que não produzisse aumento no tamanho do músculo.

Antes das proposições de Haller, uma tradição médica, religiosa e filosófica propunha que o elemento vital seria a alma ou o espírito, uma espécie de fluido sutil imaterial, sem massa e sem outras propriedades materiais, mas que estaria no cérebro e de lá fluiria para as diversas partes do corpo sendo capaz de produzir os movimentos e as sensações. A ideia da materialidade do fluido sutil responsável pela vida, proposta na atmosfera das pesquisas em eletricidade e em magnetismo, ambos também propostos como dois fluidos sutis materiais, apresentando, portanto, diversas propriedades mecânicas, leva diversos pesquisadores a concentrar esforços para diagnosticar a materialidade desse fluido vital.

Alguns estudiosos desse período passaram então a propor que o fluido vital teria uma natureza elétrica. Tommaso Laghi (1709-1764), médico e anatomista da Universidade de Bolonha admitiu diretamente a possibilidade de que os espíritos animais tivessem uma natureza elétrica e que as contrações musculares fossem provocadas pela atração elétrica entre o nervo e o músculo, proporcionada pelo fluxo de fluido elétrico.

Ora devido a interação com a máquina elétrica e posteriormente com a garrafa de Leyden, alguns efeitos fisiológicos da eletricidade já eram bastante conhecidos. Ainda em meados do séc. XVIII, o italiano Leopoldo Marco Antonio Caldani relata atividades experimentais nas quais se obtém contrações dos músculos de um sapo morto sob a influência da eletricidade. Em 1752, já havia relatos de experimentos nos quais um músculo contraiu quando tocado em dois pontos, um dos quais era um nervo, com as extremidades livres de um par de prata e cobre, e com as outras extremidades que foram unidas.

Por volta do ano de 1770 foram desenvolvidos diversos estudos acerca da eletricidade manifestada por alguns peixes elétricos. As investigações de John Walsh (1726-1795), John Hunter (1728-1793), Henry Cavendish (1731-1827) evidenciaram que os dispositivos de defesa de alguns peixes específicos, como os torpedos e as enguias, tinham natureza elétrica. Walsh, ao estudar o peixe torpedo, embora verificando a natureza elétrica de seus dispositivos de defesa, não conseguiu produzir faíscas elétricas, ao passo que no estudo com enguias, produziu uma pequena centelha.

Os estudos que relacionavam a eletricidade animal com a teoria da eletricidade o faziam por analogia, de modo que era preciso encontrar bases materiais capazes de fortalecer essas correlações analógicas. É nesse contexto que Luigi Galvani (1737-1798), professor de anatomia na Universidade de Bolonha, busca uma explicação neuroelétrica para o movimento muscular, iniciando uma pesquisa sistemática em sapos e outros animais, amparada em um constante diálogo entre teorias, hipóteses e atividades experimentais.

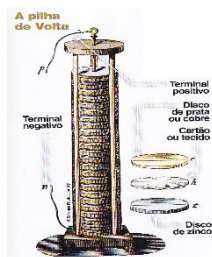
Galvani, durante o ano de 1780, enquanto dissecava um sapo em seu laboratório, colocou-o na mesa perto de uma máquina elétrica na qual estava realizando um outro experimento. Notou que uma faísca era produzida, quando o bisturi tocava em alguma terminação nervosa do sapo. Outro fenômeno intrigante relacionado ao observado é que tocando em nervos específicos, as pernas do sapo se contraíam. Isso era elemento de causar espanto porque não havia conexão direta entre a máquina elétrica e o bisturi.

Galvani atribuiu as contrações à eletricidade. Ele obteve resultados semelhantes usando vários metais, uma garrafa de Leyden carregada, um eletróforo e a eletricidade atmosférica. Estava convencido de que estava observando fenômenos elétricos biológicos cuja fonte eram os músculos ou nervos. Ele continuou seus experimentos por onze anos antes de publicar suas observações, em 1792, no livro **De viribus electricitatis in motu musculari** (Comentários sobre o efeito da eletricidade nos movimentos musculares).

Para Alessandro Volta (1745-1827), professor de história natural na Universidade de Pavia, a fonte da eletricidade era os metais e não nervos ou músculos. Mas Galvan, mesmo não usando metais, obteve os mesmos resultados em suas experiências, pois o contato de um dos nervos com a cobertura externa de um dos músculos do sapo era suficiente para causar contrações. Essas interpretações originam uma disputa intelectual entre Volta e Galvani e impulsionam os estudos e as pesquisas centrados na controvérsia entre a viabilidade ou não da corrente contínua e da proposta de um modelo teórico explicativo coerente.

Ambos atraíram para si pensadores que apoiavam suas teorias. O debate se aqueceu e nunca foi resolvido para as duas teorias, até a primeira metade do séc. XX. As propostas teóricas da eletricidade animal como sendo oriunda dos nervos e músculos e desta como sendo originada por fatores inorgânicos, apresentavam tanto fragilidades teóricas quantos elementos que as fortaleciam em um ou outro aspecto: as duas teorias tinham elementos que dificultavam tanto a sua adoção quanto o seu descarte como modelo teórico explicativo.

Galvani e Volta continuam seus experimentos até a morte de Galvani em 1798, aprofundando a querela. A obtenção de resultados práticos poderosos a partir das ideias de Volta, favoreceu o predomínio de suas ideias em detrimento das de Galvani.



**Em 1792, Volta consegue armazenar eletricidade de modo mais eficiente que a garrafa de Leyden. Para isso, elabora uma pilha cilíndrica de diversos discos de zinco, feltro, papel ou couro, colocados nessa sequência, embebidos em solução salina ou ácida diluída. A eficiência da pilha voltaica impõe um problema teórico: Na construção da pilha não são evidentes os conhecidos processos de eletrização por atrito, contato ou indução. Era preciso um modelo capaz de dar conta da eletricidade dessa pilha.**

Em pouco tempo a pilha ganha a Europa e os estudiosos logo se debruçaram sobre o problema de sua eficiência. Como solução do problema, Humphry Davy propôs que a eletricidade da pilha tinha origem química, e com água pura o artefato não operaria. Essa proposição possibilita a eletroquímica e um aprofundamento nas teorias do magnetismo e da eletricidade, impulsionados também pela pilha voltaica e pelo galvanismo.

Os conhecimentos elaborados por Galvani possibilitaram os estudos que vieram a compor a Eletrodinâmica, focando principalmente nos efeitos fisiológicos e nos fenômenos de sua condução de eletricidade por diferentes materiais.

Já a pilha voltaica forneceu eletricidade suficiente para se realizar decomposição de substâncias compostas em seus elementos constituintes. Com esse artefato, em 1800, os ingleses William Nicholson e Anthony Carlisle conseguiram realizar a decomposição da água em seus constituintes oxigênio e hidrogênio, a eletrólise. No mesmo ano e da mesma forma William Cruikshank decompôs diversos sais. Depois, outros experimentadores conseguiram decompor diversas substâncias. Berzelius de Gotland, na Suécia, entre 1802 e 1806, publicou várias pesquisas em eletroquímica. Se era possível provocar reações químicas com a eletricidade, as forças de coesão da matéria poderiam ter natureza elétrica. Os estudos que consolidaram a eletrólise e a eletroquímica permitiram o uso comercial da eletricidade.

A pilha, mesmo produzindo pequenas faíscas e poucos efeitos fisiológicos no corpo humano, produzia intensidade tal que era possível queimar fios de ferro, incandescer carvão e vaporizar folhas de ouro e prata. Aquecimento suficiente para provocar efeitos químicos diversos e até então desconhecidos.



Entretanto, a pilha apresentava uma limitação técnica<sup>73</sup>: a diminuição da intensidade da saída da eletricidade. A tentativa de superação dessa limitação possibilitou uma correlação entre a eletricidade e o magnetismo, e a proposição da existência de uma partícula material responsável pela manifestação das propriedades elétricas.

Na segunda metade do séc. XIX surge uma teoria corpuscular, onde a eletricidade é encarada como uma propriedade intrínseca de partículas específicas. O irlandês George Johnstone Stoney (1826-1911), entre 1874 e 1881, formula diversos conceitos acerca da eletricidade como sendo essa dotada de unidade fundamental. Stoney, em 1891, usa o termo elétron para fazer referência a essa unidade fundamental de eletricidade. Depois disso, Joseph J. Thomson consegue medir a razão carga e a massa. Com isso, há a proposição de um modelo mecânico da carga e corrente elétricas como modelo explicativo da eletricidade.

**A carga elétrica seria a quantidade de eletricidade do elétron. Os processos de eletrização passam a ser interpretados como excesso ou falta de elétrons no corpo.**

**A corrente elétrica seria o movimento ordenado dessas unidades de eletricidade ao longo de um meio material**

No séc. XIX, a mecânica já estava de todo consolidada, tendo diversos elementos da teoria da mecânica dos fluidos implicados na engenharia das máquinas térmicas. A Termodinâmica, parte da Filosofia Natural e da Filosofia Experimental, se propunha a estudar o movimento simultâneo de uma infinidade das partículas, sendo impossível aplicar os Princípios Fundamentais da Dinâmica individualmente a cada partícula. Os modelos corpusculares da eletricidade e do magnetismo tinha a mesma ambição e assim

---

<sup>73</sup> Esse acontecimento encarado então como um defeito técnico de projeto hoje é interpretado como um fenômeno chamado polarização da matéria, evidenciado quando aparece bolhas de gás hidrogênio no eletrodo positivo de uma bateria de solução eletrolítica, fazendo com que apareça uma resistência interna na bateria, estabelecendo uma força eletromotriz contrária, diminuindo assim intensidade da corrente elétrica de saída.

foram elaboradas pontes analógicas com e os modelos já disponíveis. No bojo dos elementos culturais que eclodiram no Positivismo, a Filosofia Natural buscava uma explicação mecânica para diversos fenômenos naturais, originando o Mecanicismo como uma corrente filosófica, que respinga nos modelos teóricos da eletricidade e do magnetismo.

Dentre as dificuldades apresentadas por esse modelo mecânico, temos a questão das velocidades de propagação da eletricidade, dos fenômenos de indução elétrica e dos efeitos luminosos relacionados à eletricidade. Até o séc. XX a existência de éter era uma verdade inquestionável, e para solucionar tais problemas era preciso uma ideia de um éter imponderável e imaterial, mas que apresentasse propriedades materiais.

James Clerk Maxwell (1831-1879), aceitando a existência do éter, propõe um modelo mecânico extremamente matematizado que incorporava em uma única teoria a eletricidade e o magnetismo, explicando de modo coerente uma vasta classe de fenômenos e as propriedades eletromagnéticas de diversos materiais. Faz isso, partindo de uma analogia entre modelo da dinâmica dos fluidos e seu modelo eletromagnético.

O modelo de Maxwell sugere a existência de campos elétricos e magnéticos, sendo que estes estavam fortemente correlacionados à ideia da luz como uma onda. A luz então teria uma natureza eletromagnética. Ao incorporar a ótica, esse modelo não conseguiu explicar alguns fenômenos óticos, tais como desvios de índice de refração e a dependência das cores em relação aos índices de refração. Além desses problemas teóricos ainda havia uma antiga querela acerca da natureza da luz, onde alguns defendia que a luz seria uma onda e outros admitiam que a luz era constituída de partículas. As duas correntes de pensamento disputavam na proposição de atividades experimentais capazes de evidenciar o caráter corpuscular ou ondulatório e na elaboração de refinamentos em seus modelos explicativos.

Partindo da proposta ondulatória, a interpretação de algumas experiências relacionadas aos fenômenos de difração e de dupla refração da luz precisava admitir que as ondas luminosas deveriam ser transversais, e não longitudinais; e o éter deveria ser um sólido totalmente elástico e não um fluido. Essa ideia da elasticidade do éter por um lado dava conta dessas experiências e por outro lado fracassava ao tentar dar conta de diversos outros fenômenos como os movimentos planetários. Outro problema enfrentado era que, quando a transversalidade da luz foi proposta, nenhum método geral ainda havia sido desenvolvido para investigar matematicamente as propriedades de corpos elásticos.

Como solução, George Gabriel Stokes (1819-1903) propôs um comportamento de sólido elástico para o éter, para vibrações rápidas, como a luz, e um comportamento de fluido, para o progressivo e lento movimento dos planetas. Já Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) e Claude Lois-Marie-Henri Navier (1785-1836) propuseram modelos de sólido elástico, mas os modelos não conseguiam obter algumas leis da difração. Em 1839 James MacCullagh (1809-1847) propõe um modelo de um sólido elástico para o éter, com propriedades que preenchem os requisitos da luz e dos movimentos planetários. professor de Filosofia Natural William Thomson (1824-1907) propõe um modelo mecânico molecular para o éter de MacCullagh e motiva Maxwell a construir um modelo mecânico para o Eletromagnetismo.

Baseado nesse último modelo, em 1897, o inglês Joseph John Thomson (1856-1940) anuncia o resultado de seus experimentos com raios catódicos; sugerindo que esses raios catódicos são constituídos de minúsculas partículas negativas, os “corpúsculos”. Depois as considerou como constituintes universais da matéria, as unidades de eletricidade ou elétrons. Essa partícula foi evidenciada materialmente somente no ano de 1909, com o experimento de Milikan que equilibrando a interação elétrica com a interação gravitacional conseguiu a proeza de fazer levitar uma gota de óleo

A ideia do elétron como sendo uma partícula elementar natural contendo diversas propriedades eletromagnéticas, embora fazendo uso de todo o percurso histórico da constituição da teoria, eclode no ano de 1891, mas foi gestada num processo de longínqua duração, lentamente amadurecida pela mediação possibilitada pela interação dos sujeitos com os diversos artefatos elaborados para se estudar a eletricidade e o magnetismo.

Da proposição da ideia de existência do elétron à interpretação do experimento de Milikan como sendo um fenômeno produzido pelos elétrons; ainda foi preciso anos de amadurecimento de ideias, de elaboração de novos artefatos, de surgimento de diversas tentativas e modelos teóricos explicativos. Na atualidade, o elétron é tido como uma partícula fundamental da natureza com de carga elétrica, responsável por diversos fenômenos abarcados pela teoria eletromagnética e pela mecânica quântica; sendo ainda hoje fruto de diversas pesquisas, embates tanto teóricos e quanto experimentais. A porta ainda está aberta.

#### **5.16 Questões referentes ao Texto 04**

- 1) Segundo o texto quais são os três processos de eletrização possíveis de ocorrer na natureza? Tente explicar como cada um deles ocorre
- 2) Os estudos dos fenômenos de indução elétrica proporcionaram a constituição da eletricidade em bases cada vez mais sólidas. Que inovações materiais e teóricas os processos de eletrização trouxeram para a teoria da eletricidade no século XVIII?
- 3) Ao abrir os livros de Física que tratam da teoria eletromagnética, percebe-se o grande teor de matematização dessa teoria. Entretanto, o texto evidencia que essa matematização foi um processo de início relativamente recente, sendo que até o século XVIII, todos os conhecimentos em eletricidade eram essencialmente qualitativos. Segundo o texto, responda os seguintes quesitos
  - a) Que elementos proporcionaram a matematização da teoria?
  - b) Como esse processo foi iniciado?
  - c) Que grandezas eram medidas?
  - d) Que instrumentos foram elaborados para se obter informações quantitativas acerca da eletricidade?
- 4) Diferencie eletroscópio de eletrômetro.
- 5) Segundo Mario Bunge o pensamento analógico possui grande importância na elaboração de teorias físicas. Por que em Física a analogia é importante? Como funciona o pensamento analógico em Física?
- 6) No processo de matematização da teoria da eletricidade que recursos analógicos foram utilizados no contexto da elaboração e uso da balança elétrica de torção?
- 7) William Watson propôs um modelo teórico explicativo da eletricidade como sendo um fluido único, ideia desenvolvida por Benjamin Franklin. Essa ideia rivalizou com a ideia proposta por Charles François de Cisternay Du Fay que considerava a eletricidade como sendo constituída por dois fluidos distintos. Que elementos materiais e teóricos Franklin utilizou para defender sua proposta?
- 8) Como os fenômenos atmosféricos como o raio, o relâmpago e o trovão foram incorporados à teoria da eletricidade?
- 9) O final do século XVIII presenciou uma grande disputa teórica e material entre o galvanismo e a teoria do contato dos metais proposta por Alessandro Volta. Elabore um quadro comparativo entre as duas propostas indicando seus pontos fortes, seus pontos fracos, seus experimentos e seus desdobramentos.
- 10) Na contemporaneidade é aceita a ideia do elétron como sendo uma partícula elementar da natureza apresentando diversas propriedades elétrica e magnéticas além

de ter massa. Devido essas propriedades o elétron é objeto de estudo tanto da teoria eletromagnética como da teoria quântica, mas, como explicitado no texto, ao contrário do que muitos pensam, a ideia de elétron não surge na Antiguidade Clássica, mas somente no final do século XIX, mais precisamente no ano de 1891, embora estivesse em gestação durante um longo tempo. Aponte os principais problemas teóricos práticos solucionados tanto pela proposição da ideia de elétron quanto pela indicação da sua materialidade, feita pela interpretação do experimento de Milikan, da levitação da gota de gota de óleo.

### 5.17 Chaves comparativas de repostas referentes às questões do Texto 4

	Respostas
1.	<p>Atrito: Processo de eletrização no qual dois corpos A e B, inicialmente são mutuamente friccionados, ficando ambos eletrizados, sendo que o corpo B fica com carga elétrica de natureza oposta à natureza da carga obtida pelo corpo A. Os dois corpos apresentam mesma quantidade de carga elétrica em módulo.</p> <p>Contato: Processo de eletrização no qual um corpo eletrizado entra em contato com um corpo neutro ou eletrizado de modo que esses dois corpos interagem até atingirem o equilíbrio eletrostático, trocando cargas elétricas entre si.</p> <p>Indução: Processo de eletrização no qual um corpo eletrizado é aproximado de um corpo inicialmente neutro sem, contudo, nele tocar, produzindo uma polarização de cargas elétricas no interior do corpo neutro.</p>
2.	<p>O estudo que levaram à consolidação dos processos de eletrização por atrito, contato e indução elétrica fomentou o desenvolvimento de diversos instrumentos como o dobrador elétrico, o eletroscópio, o eletrômetro e a balança de torção elétrica. Esses instrumentos produziram alterações no psiquismo dos pesquisadores, maturações de diversas ideias, refinamento e complexificação da teoria da teoria da eletricidade</p>
3.	<p>a) A elaboração de instrumentos voltados para a experimentação agora usando alguma escala de medida de ângulo ou comprimento; a aceitação da eletricidade como sendo constituída por um fluido mecânico sujeito a todas as leis da mecânica clássica, inclusive a quantificação. A analogia da teoria da</p>

	<p>eletricidade com a ideia da gravitação universal, para a lei da proporcionalidade com o inverso do quadrado da distância.</p> <p>b) Esse processo foi iniciado aceitando a eletricidade como um fluido mecânico, o desenvolvimento dos estudos em indução elétrica com o uso do eletrofóro e realizando medições a partir do uso de eletroscópio de folhas.</p> <p>c) Em geral media-se algum ângulo ou algum comprimento aceitando a proporcionalidade de quanto maior o valor dessas grandezas maior seria a intensidade da eletricidade estudada</p> <p>d) O eletroscópio de folhas, o eletrômetro de pêndulo e de quadrante e a balança de torção elétrica</p>
4.	<p>Enquanto o eletroscópio era um dispositivo usado somente para acusar a presença ou ausência de eletricidade em um dado corpo, o eletrômetro é um artefato que além de fornecer essa informação também possibilita obter alguma informação quantitativa acerca da eletricidade em questão.</p>
5.	<p>Na constituição de uma teoria física, historicamente, por falta de modelos mentais a partir dos quais seja possível pensar o objeto a ser apreendido e suas relações com os outros objetos já conhecidos, é frequente lançar-se mão do pensamento analógico, isto é, realizar operações mentais de aproximações sucessivas a partir do background à disposição e que constitui outras teorias já consolidadas. Essa é uma poderosa ferramenta mental que permite aproximar uma realidade distante, buscando uma associação por semelhança entre o desconhecido e o já conhecido.</p>
6.	<p>Com a proposta do eletrômetro-aerômetro por Le Roy e d'Arcy foi possível estabelecer uma analogia forte entre modelo teórico explicativo da eletricidade e os modelos matematizados típicos da mecânica clássica, vez que agora havia uma correspondência não só matemática como também física entre a mecânica e a eletricidade. O que antes era acenado como uma ideia sem fundamentação, passa a ter elementos materiais capazes de aproximar a eletricidade da mecânica clássica.</p> <p>Essa aproximação possui um conjunto complexo de ideias, com vários matizes teóricos, uma pluralidade inicial de modelos teóricos explicativos, combinando diversos elementos culturais com a então racionalidade característica da ciência moderna. Desse modo todo o</p>

	<p>ferramental matemático oriundo da hidrostática e da hidrodinâmica precisava ser transposto para a teoria da eletricidade, precisava ser interpretado, ressignificado. Reiteramos que não se trata de uma analogia tal como acontece nos livros elementares de ensino superior, antes é a própria teoria que se insinua de tal forma que a eletricidade fora concebida inicialmente como um fluido. É nesse contexto que Coulomb propõe uma relação matemática para a ideia de força elétrica como sendo esta proporcional ao inverso do quadrado da distância entre dos corpos que interagem eletricamente. Aqui temos uma forte correlação analógica com a mecânica clássica no contexto da interação gravitacional.</p>
7.	<p>Ele supôs que todos os corpos continham eletricidade e que, quando dois corpos de naturezas diferentes são esfregados, um fica com excesso e o outro com falta de eletricidade. Assim admitiu a existência de somente um tipo de eletricidade. Para explicar a atração e a repulsão elétrica, Franklin propôs que a eletricidade sempre repele a si mesma, ao passo que atrai a matéria que a retém; de modo que, um corpo com excesso de eletricidade repele um corpo com excesso de eletricidade e atrai um corpo com deficiência de eletricidade. O corpo seria eletrizado de uma forma pelo excesso do fluido e de outra pela ausência desse fluido.</p> <p>Para materializar suas ideias propôs um conjunto de diversas experiências, sendo que em uma delas duas pessoas se posicionavam em plataformas isoladas. Atrita-se um pano em um vidro de modo que estes se eletrizam, uma pessoa toca no pano enquanto a outra toca no vidro. Quando essas duas pessoas aproximaram suas mãos, uma forte faísca passou entre a distância entre os dedos das duas pessoas e ambas são completamente descarregadas, mostrando que as eletricidades se neutralizaram. Outra demonstração do mesmo efeito foi feita pendurando uma bola de cortiça entre dois corpos metálicos de pequenas dimensões conectados aos revestimentos interno e externo de uma garrafa de Leyden. A bola vibrou entre os dois corpos metálicos até a garrafa de Leyden se descarregar completamente, de modo que os revestimentos da garrafa ficaram neutros.</p>
8.	<p>Franklin montou um experimento no qual um sino acionado por eletricidade atmosférica. Ele pôs uma haste metálica isolada na parte superior</p>

	<p>de um imóvel, conectada a um dispositivo no qual havia dois sinos, com um chocalho levemente suspenso e isolado entre eles. Cada sino foi colocado nas extremidades da haste, sendo que um deles ficou na parte superior em contato com o ar e o outro na parte inferior. Quando a haste ficava suficientemente eletrizada, o badalo era atraído primeiro para um sino e depois para o outro. Com esse dispositivo, a crença de que o relâmpago e o trovão foi fortalecida. Esse procedimento experimental inaugura uma nova rotina de realização de diversos outros experimentos nos quais se buscava relacionar os conhecimentos disponíveis de então sobre eletricidade com os fenômenos atmosféricos observáveis, principalmente quando das tempestades com raios relâmpagos e trovões. Depois, Franklin conseguiu carregar uma garrafa de Leyden a partir de nuvens de tempestades.</p>				
9.		Pontos Fortes	Pontos Francos	Experimentos	Desdobramentos
	Galvanismo	Aprofundamento da compreensão dos efeitos fisiológicos da eletricidade nos corpos dos animais e do ser humano	Fragilidade teórica por acreditar que a eletricidade estudada era de origem animal	Movimento de membros e corpos de animais e pessoas mortas	Desenvolvimento da teoria neuro elétrica e de instrumentos de reanimação cardíaca.
	Pilha voltaica	Armazenamento de energia elétrica de modo eficaz Elaboração teórica mais econômica	Grandes quantidades de energia de custo de obtenção de grandes quantidades de energia	Descargas elétricas produzidas por diferentes metais justapostos	Desenvolvimento da teoria das pilhas e baterias
10.	<p>Dentre as diversas dificuldades apresentadas pelo modelo mecânico da eletricidade, temos a questão da velocidade da condução da eletricidade, a velocidade dos fenômenos de indução elétrica e a velocidade dos efeitos</p>				



luminosos relacionados à eletricidade. Até o século XX a existência de éter era uma verdade inquestionável, e para solucionar tais problemas era preciso uma ideia de um éter mesmo imponderável e imaterial, mas que apresentasse algumas propriedades materiais como a elasticidade. Uma consequência direta das leis do inverso do quadrado é a ideia de interação à distância de modo imediato ou simultâneo.

Além dessas dificuldades a adoção do modelo ondulatório para a eletricidade e o magnetismo, ao incorporar a luz como fenômeno eletromagnético não dava conta de explicar diversos fenômenos óticos, o que só foi explicado admitindo a possibilidade da existência do elétron.

### **Momento De Execução da Atividade Experimental**

---

---

Nesse momento é dada a oportunidade aos grupos de estudantes de apresentarem os seus trabalhos, sendo que o professor apenas atua como mediador e como expectador. Aqui todos os procedimentos práticos e as explicações são levadas a cabo pelos alunos. De modo que não tem como prever os desempenhos individuais dos estudantes em cada grupo.

## Síntese Integradora E Auto Avaliação

---

### 5.18 Síntese Integradora

No contexto de nossa atividade, as sínteses temáticas integradoras são produções textuais transdisciplinares, resultado do trabalho com os temas geradores propostos nos quatro textos e no filme problematizados em sala de aula, que possuem o propósito de evidenciar em que medida você alunos está conseguindo fazer uma elaboração própria dos temas estudados e se você consegue relacioná-los com outros temas abordados em outras disciplinas ou a elementos de seu dia a dia. Assim, tanto como pessoa quanto como aluno, você está sendo provocado a organizar os novos conhecimentos (conteúdos, habilidades e valores, de natureza intelectual, ética e estética), relacionando-os não só com suas experiências passadas (conhecimentos prévios), mas também com seus sonhos e seus desejos no futuro.

No momento da produção do texto escrito você é convidado a retomar, organizar e integrar as ideias. Como tema integrador norteador da sua produção textual apresentamos o seguinte texto que pode auxiliar você a retomar algumas ideias

**A Teoria da Eletricidade nasce e se constitui no projeto moderno do Esclarecimento (Iluminismo) e por isso, intrinsecamente carrega consigo um projeto de formação cultural fundado na racionalidade técnica a ser consumada num futuro irrealizável. Quando nos voltamos criticamente para o passado da Teoria da Eletricidade, desnudamos as fragilidades desse conhecimento; suspendemos o tempo do devir, valorizamos a tradição e abrimo-nos para a possibilidade de uma experiência formativa que embora seja em Ciências Naturais reconstitui o lugar do humano pela ação capaz de transformar tanto a realidade como o próprio sujeito da ação.**

### 5.19 Autoavaliação

Chegamos ao fim de nossa unidade formativa. Depois de elaborar sua síntese integradora, você agora está sendo convidado a fazer uma reflexão de autoavaliação de sua participação no conjunto das atividades desenvolvidas ao longo desse processo.

Você pode utilizar os tópicos listados abaixo para organizar seu texto. Cada tópico pode ser desenvolvido num parágrafo.

- Quais eram suas expectativas ao se propor a participar dessas atividades?

- Suas expectativas foram atendidas?
- Como foi sua relação com os colegas e professor no início e como evoluiu ao longo do curso?
  - Quais os temas abordados na unidade formativa de que você mais gostou? Por quê?
  - Quais os temas abordados na unidade formativa em que você teve mais dificuldades? Por quê?
  - Suas dificuldades foram superadas ao longo do curso?
  - Quais são os conteúdos aprendidos que você considera mais interessantes ou importantes?
  - Que sentido teve para você a experiência de desenvolvimento das atividades propostas? Quais as aprendizagens que essas atividades lhe proporcionaram?
  - Quais são suas expectativas de futuro?
  - Como pretende continuar a desenvolver sua formação escolar, profissional e cidadã?
  - Que mensagem você daria para jovens que ainda não passaram por essa unidade formativa?

## Bibliografia para o professor

---

ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade.** Campinas: Editora da Unicamp, v. 1 e 2, 2018.

BELTRAN, M. H. R. **História da ciência para a formação de professores.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

BENJAMIN, W. **Magia e técnica, arte e política: Ensaio sobre literatura e história da cultura.** Tradução de Sergio Paulo Rouanet. 3ª. ed. São Paulo: Brasiliense, v. 1, 1987. (Obras Escolhidas).

BOSS, S. L. B. **Tradução comentada de artigos de Stephen Gray (1666-1736) e reprodução de experimentos históricos com materiais acessíveis: subsídios para o ensino de eletricidade.** Bauru: [s.n.], 2011.

GIL, A. C. **Metodos e Técnicas de pesquisa social.** 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 1987. 206 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

LESSA, S. **Introdução à filosofia de Marx.** 2ª. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2011. 128 p.

MORAES, R. Mergulhos discursivos: análise textual qualitativa entendida como processo integrado de aprender, comunicar e interferir em discursos. In: FREITAS, M. D. C. G. E. J. V. D. **Metodologias emergentes de pesquisa em educação ambiental.** Ijuí: Ed. Injuí, 2005. p. 85-114.

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