UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
FÍSICA-LICENCIATURA

ELTON DAVID LOPES

UMA PROPOSTA METÓDOLOGICA UTILIZANDO A HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB NO ENSINO MÉDIO

CARUARU
2020

ELTON DAVID LOPES

UMA PROPOSTA METÓDOLOGICA UTILIZANDO A HISTÓRIA DA CIÊNCIA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB NO ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física-Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Profº. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos

CARUARU

2020

Catalogação na fonte:

Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 – 1242

L864p Lopes, Elton David.

Uma proposta metodológica utilizando a história da ciência para o ensino da lei de Coulomb no ensino médio. / Elton David Lopes. – 2020.

82 f. ; il. : 30 cm.

Orientador: João Eduardo Fernandes Ramos.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2020.

Inclui Referências.

1. Física - História. 2. Aprendizagem. 3. Física – Estudo e ensino. 4. Ensino médio. I. Ramos, João Eduardo Fernandes (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2020-120)

ELTON DAVID LOPES

UMA PROPOSTA METÓDOLOGICA UTILIZANDO A HISTÓRIADA CIÊNCIA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB NO ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Física-licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de licenciado em Física.

Aprovada em: 08/12/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco/NFD

Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdes Rodriguez (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco/NFD

Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco/NICEN

Dedico este trabalho a toda a minha família, minha base para grandes saltos, em especial ao meu pai (in memoriam) por ter sido um exemplo de coragem e a minha mãe por apresentar-me o signficado da perseverança.

AGRADECIMENTOS

Primeiramante a Deus pelo dom da vida, a sabedoria e os discernimentos necessários para conclusão de mais um ciclo em minha vida.

A minha mãe pela paciêcia, conversas e incentivos na minha jornada acadêmica.

Ao meu pai (in memoriam), que transpôs sua sabedoria de mundo e sua experiência para mim de forma majestosa.

Aos meus irmãos, Edmundo Lopes Ferreira Filho, Edneuda David Lopes e Erick David Lopes, que contribuíram de forma signficativa no meu avanço acadêmico, apoiando e me fortalecendo sempre que necessário.

A minha esposa, Wêidman Nayara dos Santos, que esteve comigo em toda minha caminhada, acreditou em mim e me incentivou desde o príncipio.

Ao meu orientador, professor Dr. João Eduardo Fernandes Ramos, que participou da minha jornada acadêmica durante quatro de cinco anos, e aceitou meu modesto convite de orientação e mostrou-se paciente e disposto a ajudar no que fosse preciso.

Aos demais professores da minha graduação, por de forma indireta ou direta terem contribuído para a minha formação profissional e pessoal.

Aos amigos que fiz nesta caminhada, Larissa Almeida, Josemar Bezerra, Gustavo Lira, Manoel Neto, Emmanuel Fernandes, Luiz Fernando, Thiago Tabosa, Júlio César e Renan Gomes, que tornaram o cotidiano da universidade gratificantes e que dividiram comigo todas as conquistas neste período de formação.

Aos meus grandes amigos que me acompanharam desde o meu interesse por Física no ensino médio, Karla Kilma e Luiz Filipe.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com a minha formação acadêmica.

“Gente inteligente não gosta de coisa chata. É preciso mostrar coisas estimulantes, desafiadoras. Não devemos conduzir para a passividade por obediência”.

Prof. Luiz Carlos de Menezes, USP.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo elaborar e investigar o potencial pedagógico de uma sequência didática para o ensino da Lei de Coulomb em uma turma do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública do estado de Pernambuco, em São Caitano. A construção da sequência didática se firmou em História da Ciência, sobretudo da Física, focando no apanhado histórico das contribuições cientificas até a definição de Coulomb sobre forças eletrostáticas e na experimentação com uma analogia do experimento, de baixo custo, baseando-se nos indicativos de aprendizagem significativa de David Ausubel. A sequência foi aplicada no primeiro semestre de 2020, e para a coleta de dados foram utilizados diário de bordo e um questionário bem estruturado para obtenção de dados qualitativos numa amostragem de 13 alunos. A utilização desta sequência evidenciou a possibilidade de trabalhar História da Ciência com conteúdos formais e práticos, sem que haja uma perca de conhecimento ou um atraso na programação do professor ou da escola ou de ambos. Mostrou ainda que este tipo de aplicação contribui com os avanços de percepção de mundo, concepção histórica e entendimento de cultura cientifica, por parte dos alunos.

Palavras-chaves: Lei de Coulomb. História da Física. Aprendizagem significativa.

ABSTRACT

The present study aimed to elaborate and investigate the pedagogical potential of a didactic sequence for the teaching of Coulomb's Law in a class of the third year of high school in a public school in the state of Pernambuco, in São Caitano. The construction of the didactic sequence was established in the History of Science, especially Physics, focusing on the historical background of scientific contributions up to Coulomb's definition of electrostatic forces and experimentation with a low cost experiment analogy, based on David Ausubel's indications of significant learning. The sequence was applied in the first half of 2020, and for data collection, a logbook and a well-structured questionnaire were used to obtain qualitative data in a sample of 13 students. The use of this sequence showed the possibility of working History of Science with formal and practical contents, without losing knowledge or delaying the programming of the teacher or the school or both. It also showed that this type of application contributes to the advances in world perception, historical conception and understanding of scientific culture, by students.

Keywords: Coulomb's Law. History of Physics. Meaningful Learning.

LISTA DE SIGLAS

a. C.	antes de Cristo
MEC	Ministério da Educação e Cultura
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
BNCC	Base Nacional Curricular Comum

LISTA DE ABREVIATURAS

HC.	História da Ciência
Et al.	E outros
CM.	Centro de Massa

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados obtidos a respeito da HC em alguns livros aprovados pela PNLD 20

Tabela 2 – Sequência didática em função de suas aulas e etapas 45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Versorium de Gilbert.....30

Figura 2 – Réplica da Máquina Eletrostática de Otto Van Guerick.....32

Figura 3 – Máquina Eletrostática de Hauskbee 33

Figura 4 – Garrafa de Leyden.....33

Figura 5 – Eletrômetro de Nollet.....36

Figura 6 – Charles Augustin de Coulomb 38

Figura 7 – Balança de Torção em fios utilizada por Coulomb.....39

Figura 8 – Esquema da balança de torção de Coulomb para aferir a força elétrica de interação 40

Figura 9 – Esquema didático para as representações das cargas e Força Elétrica, na balança.....41

Figura 10 – Experimento de baixo custo semelhante a balança de torção.....50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Força elétrica em função da distância entre as partículas ou cargas. 53
Gráfico 2 – Respostas da primeira questão do questionário 60
Gráfico 3 – Respostas da segunda questão do questionário 60
Gráfico 4 – Respostas da terceira questão do questionário 62
Gráfico 5 – Respostas da quarta questão do questionário 63
Gráfico 6 – Respostas da quinta questão do questionário 64
Gráfico 7 – Respostas da sexta questão do questionário 65
Gráfico 8 – Respostas da sétima questão do questionário 66
Gráfico 9 – Respostas da oitava questão do questionário 67

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 14

1.1 O Trabalho 14

1.2 A Pesquisa 15

2 **MOTIVAÇÃO DA PESQUISA** 17

2.1 História da Ciência na sala de aula: Diretrizes Curriculares 18

2.2 História da Ciência Nos livros didáticos 19

2.3 Utilização da história da Física no Ensino de Física 21

2.4 Percepção Autoral quanto a HC na sala de aula 23

3 **UM BREVE APANHADO HISTÓRICO** 27

3.1 De a.C. até o século XVIII 27

3.2 Charles Augustin de Coulomb e sua balança esclarecedora 37

4 **METODOLOGIA** 44

4.1 A sequência didática 44

4.2 O experimento (terceira parte da sequência didática) 49

4.3 O questionário (última parte da sequência didática) 51

5 **DISCUSSÃO DE RESULTADOS** 56

5.1 Diário de Bordo: Observações 56

5.2 O questionário: Avaliação das respostas 59

6 **CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS** 69

REFERÊNCIAS 71

APÊNDICE A – PLANOS DE AULA 72

APÊNDICE B – NOTAS DO DIÁRIO DE BORDO 78

1 INTRODUÇÃO

1.1 O Trabalho

Este trabalho divide-se em seis capítulos, onde o primeiro deles trata-se da introdução, onde buscamos mostrar alguns dos problemas atuais para o ensino de Física, explanar nossos objetivos para o decorrer da pesquisa, e apresentamos questionamentos que nos fizeram levar a ideia de ensino baseado na História da Ciência a frente.

O segundo capítulo, trata-se das explanações das motivações para a pesquisa, neste abordaremos duas breves pesquisas feitas com as diretrizes curriculares, PCN, PCN+ e BNCC e com os livros didáticos, apresentaremos o que cada uma dessas pesquisas resultou e como a História é vista em ambos, além disso traremos argumentações a respeito da importância do ensino baseado na História da Ciência e por fim apresentaremos nossa percepção a respeito do ensino atual.

O terceiro capítulo, é um breve apanhado histórico da eletricidade e magnetismo, com foco na eletricidade, desde o início até as definições de Coulomb, traremos os estudos realizados antes deste feito, e também como foi idealizado o experimento da balança de torção e como podemos aplicar em sala de aula, este capítulo servirá de principal fundamento para explanação da sequência didática.

O quarto capítulo, é exclusivo para a metodologia, abordaremos onde iremos trabalhar e o quê iremos trabalhar, evidenciaremos a sequência didática, e explicitaremos as etapas desta e por quais razões seguiremos tal modelo. Quais os focos das etapas, e o que se espera destas etapas, qual experimento utilizaremos e de que forma o explicaremos, em suma, este capítulo se voltará para a discretização da sequência.

No quinto capítulo colocaremos os dados em jogo, os resultados obtidos da nossa metodologia, que utilizaremos dois meios, o diário de bordo para apresentarmos uma visão da classe por parte do pesquisador, e o questionário para quantificarmos e discutirmos os resultados, sendo eles positivos ou negativos.

Já para o sexto capítulo, faremos as devidas conclusões a respeito do que esperávamos da pesquisa, as dificuldades deparadas, e quais as perspectivas para esta pesquisa.

1.2 A pesquisa

No ensino de Física, em geral, tem-se como proposta metodológica adaptar o conteúdo para melhor entendimento do aluno, porém esta tarefa não é tão simples para o professor, e quando se há como material de apoio apenas os livros didáticos, que são muito resumidos, a tarefa se torna ainda mais perturbadora, em especial, quando tratamos a respeito da Lei de Coulomb: “Esta lei, formulada por Charles Augustin de Coulomb, trata-se das forças de interação (atração e repulsão) entre duas cargas elétricas puntiformes, ou seja, com dimensão e massa desprezível” (HALLIDAY E RESNICK, 2009, p. 6). Existem inúmeras situações que fazem com que os professores de Física apliquem apenas o conteúdo pragmático e menos versátil de cáculo e formulas, como o tempo, a carga horária do professor, a fomação do professor[1] e por outro lado também deve-se mencionar o interesse do aluno, as condições da escola e etc.

Entendendo essa situação e esses problemas no Ensino de Física, pretendemos com esta pesquisa buscar ou entender, de que maneira poderíamos ensinar a Lei de Coulomb prezando a história da ciência (HC), obtendo uma aprendizagem significativa para o 3º ano do ensino médio?. Tendo como principal interesse buscar uma metodologia para o ensino desse conteúdo com bases firmadas na HC, que embora haja tantas dificuldades, seja de fato uma metodologia possível de se utilizar na sala de aula e que, além disso, busque trabalhar aquilo que o alunado já tenha conhecimento, como “arma” para o ensino.

Para isso achamos necessário avaliar alguns livros aprovados pela PNLD, e também fizemos analises das diretrizes curriculares do nosso país, PCN, PCN+ e BNCC. Na intenção de compreender como as diretrizes entendem o ensino da HC, e se esse entedimento é refletido nos livros didáticos, que para

[1] Para este trabalho, esse problema que diz respeito a formação profissional não será levado em consideração, pois embora seja um fato extremamente importante, nossa intenção é criar uma proposta acessível para o docente lecionar o conteúdo

muitos professores são os seus principais intrumentos de ensino. Abordaremos a importância da HC no ensino de Física, quais suas contribuições e quais melhorias a utilização desta pode proporcionar bem como utilizaremos a HC na sequência didática para o ensino da lei de Coulomb. Pretende-se fazer com que o aluno entenda o conteúdo de uma forma alternativa, distante do padrão, e para isso trabalharemos os conceitos da História da Física, claro, focado na história da eletricidade e como os estudos desde o inicio foram imprescindíveis para a Lei de Coulomb. Além disso, com a compreensão da História da Física, pretendemos fazer com que o alunado compreenda que os grandes cientistas não fizeram tais descobertas da noite para o dia, e que por trás destas descobertas houve uma grande pesquisa fundamentada, a respeito dos conteúdos, até que efetivamente fosse feito alguma descoberta, desmistificando dessa forma os ‘’gênios’’, que na verdade foram brilhantes cientistas que foram capazes de unir o obtido até então, com o proposto por eles próprios, para concluir uma nova idéia revolucionária.

Por fim, o interesse central da pesquisa é propor uma forma de ensinar a Lei de Coulomb, apoiado na História da Ciência como forma de subsunçor para os alunos, ou seja, utilizar uma sequência didática que busque em aulas expositivas dialogadas, tratar sempre que possível do contexto histórico, pois acreditamos que é possível ensinar a Lei de Coulomb de uma maneira que corra por fora do padrão mecanicista e que trabalhe a História da Física e a utilize como fundamento para haver uma Aprendizagem Significativa. Dessa maneira acreditamos que esta pesquisa servirá como um bom estopim para trabalhar o Contexto Histórico no Ensino de Física, em especial quando se tratar de Eletricidade, e sobretudo o ensino da Lei de Coulomb.

2 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA

Além da nossa vivência em sala de aula, desde aluno a pesquisador, e até mesmo como professor bolsista, em que percebíamos um padrão de ensino baseado em utilizações de livro didáticos e conteúdos diretos, aplicados desta forma talvez devido a falta de tempo, ou seja, além das nossas percepções a respeito do ensino de Física baseados em nossa experiência, traremos neste capítulo quatro tópicos que melhor evidenciam a situação da ausência da HC e que servirão como principais apoios para a motivação desta pesquisa. No primeiro trazemos uma breve pesquisa textual feita nos documentos governamentais PCNEM, PCNEM+ e BNCC, no intuito de à maneira sucinta evidenciar o que pensam a respeito da utilização da HC na sala de aula, como eles consideram importante, e por quais meios o ensino de ciência, sobretudo da Física, deve se apoiar na utilização da HC.

No segundo tópico, foram analisados livros adotados para o ensino de Física aprovados na PNLD (2018-2020), na intenção de verificar se o que é mostrado nos documentos governamentais, é encontrado nos livros didáticos, avaliamos se há HC nos livros a respeito da Lei de Coulomb, e se há, de qual forma, aceitável ou apenas breves menções. Criamos esta ponte entre os dois tópicos, pois entedemos que por tratar-se de livros aprovados pelo PNLD, estes devem mostrar as configurações vistas nos planos de ensino.

No terceiro tópico, abordamos no que diz respeito a utilização da HC, sobretudo da Física, no ensino de Física. Quais resultados podem ser obtidos ao utilizar a HC na sala de aula, quais melhorias e abordar algumas das possíveis razões para a própria não ser vista com frequência no âmbito escolar. Entender que por fim, a utilização da HC na sala de aula além de beneficiar o entendimento do conteúdo abordado, trará também benefícios no entendimento sócio-histórico, na compreensão de mundo e na explanação da cultura cíentifica: a famosa pergunta ‘’como se faz ciência?’’, ressaltando é claro que a ciência tem maneiras particulares de ser feita, e que na verdade não tentaremos responder exatemente como se faz ciência, como uma ‘’receita de bolo’’ mas sim, entender como foi feita no passado para que se possa espelhar o presente e quem sabe no futuro.

Por fim, o quarto tópico, trata-se mais de uma concepção autoral a respeito dos resultados encontrados nas breves pesquisas feitas nos tópicos anteriores, buscando problematizar o ensino de Física hoje, quais as razões o que pode ser melhorado, e como inserir um ensino prático da Física, que consiga dialogar com a História da ciência e ao mesmo tempo abordar os conceitos básicos de ensino, hoje cobrados em vestibulares e avaliações escolares.

2.1 História da Ciência na sala de aula: Diretrizes Curriculares

Antes que possamos dar andamento ao trabalho, achamos viável entender dos orgãos governamentais, o que se pretende ou espera-se das aulas pelos governos nacionais, para isso foram feitas breves análises do PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio), PCNEM+ e do BNCC (Base Nacional Curricular Comun). Nesta breve pesquisa feita, foi analisado apenas o que refere-se-a HC no Ensino de Física, para isso então trazemos pequenos recortes dos textos, primeiramente este retirado do PCNEM:

> "Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas." (PCNs. Ciências da Natureza. Ensino Médio, 1998, p. 22)

Segundamente trazemos o texto do PCNEM+,

> Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado. (PCNs+. Ciências da Natureza. Ensino Médio, 2007, p. 56)

E por fim, e com certeza não menos importante, trazemos o texto da BNCC:

> Na mesma direção, a contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura. (BNCC, 2018, p. 550)

Note que os textos, estão em união em seus devidos discursos a respeito da utilização da HC no ensino de ciência, para o nosso caso em específico, no

ensino de Física, percebe-se um discurso que diz respeito a apresentação do contexto histórico de antemão à descoberta, no intuito de explicitar para o alunado que aquela descoberta não foi unicamente vinda de um cientista, mas de um processo de contextualização e estudos por anos, para que o cientista fundador da idéia, após unir várias contribuições anteriores, consiga promover esta descoberta, como é o caso da Lei de Coulomb que as primeiras contribuições são dadas no século XVII com Nicolau Cabeo (1596 - 1650) e Otto Van Guericke (1602 – 1686) (ASSIS, 2010), quando fazem as primeiras mensões a existência da repulsão elétrica, e é só no século XVIII que Coulomb define a Força Elétrica.

2.2 História da Ciência Nos livros didáticos

Um ponto importante e extramemente necessário de ser mecionado a respeito das citações supracitadas no tópico anterior, são os livros didáticos, após fazermos a pesquisa a respeito dos planos acima, notamos que seria necessário analisarmos os livros didáticos, percebemos isso pois como muito bem sabemos, a principal ferramenta de trabalho do professor de Física é o livro didático fornecido pela escola que por vezes o professor chega até a ser forçado a utilizar este material.

Para mais essa breve análise, analisamos cinco livros didáticos, todos aprovados na última PNLD (2018, 2019 e 2020), e tomamos como parâmetro quatro características a respeito da existência da HC no tema da Lei de Coulomb categorizadas a *posteriori,* (nada, pouco, mediano e muito), tendo como *Muito*, exatamente o que diz nas menções feitas aos planos, que afirmam que o ensino de Física deve focar na contextualização histórica da pesquisa feita desde o príncipio até a realização do que tem-se até hoje, e o *Nada* como sendo literalmente nada, onde nada do tema no livro se referirá a HC. Lembrando que estamos tratando em específico o tema Lei de Coulomb no livro. Segue abaixo a tabela 1.1 com os resultados obtidos seguindo a ótica explicitada anteriormente.

Tabela 1 – Resultados obtidos a respeito da HC em alguns livros aprovados pela PNLD

Livros	Nada	Pouco	Mediano	Muito
Tópicos De Física, Vol 3 (Gualter, Newton, Helou)				
Física, Vol 3 (Guimarães, Piqueira, Carron)				
Conexões com a Física, Vol 3 (Martini, Spinelli, Reis, Sant'Anna)				
Curso de Física, Vol 3 (Máximo, Beatriz)				
Física, Vol 3 (Bonjorno, Clinton)				

Fonte: Autor, 2020.

Vale ressaltar que embora o livro de Máximo e Beatriz tenha sido classificado como mediano, foi o único que apresentou uma biografia de Coulomb, ou seja, trouxe um pouco mais de HC para o texto, e também vale ressaltar que o livro de Bonjorno e Clinton trouxe um passo antes da descoberta

de Coulomb, quando Joseph Priestley faz suas devidas contribuições, porém foi classificado como mediano pelo motivo de trazer de forma superficial, e trazer pouco o contexto histórico.

Conseguimos abstrair coisas interessantes desses resultados, a primeira é: todos os livros tentaram abordar a temática de HC no tema da Lei de Coulomb, o que é ponto quase positivo, se não fosse abordado de forma tão discreta e sucinta como foi abordado. O segundo ponto é que nenhum dos livros foram capazes de abordar o que consideramos ‘’Muito’’ seguindo os planos, que nada mais é que fazer um apanhado do contexto histórico. E isso nos indica que embora segundo os planos seja necessário o ensino de HC nas escolas, a PNLD acaba não dando ouvido aos PCNs e BNCC e escolhendo livros que pouco abordam ou abordam muito mal os temas de HC com respeito a ensino de Física.

E esse tipo de decisão nas escolhas juntamente com outros problemas, como formação dos professores, cobranças de conteúdos que ‘’obrigam’’ os professores a trabalharem apenas aplicações de fórmula e resultam consequentemente na ideia de que Física é fazer contas, acabam consequentemente refletindo no ensino que temos hoje, com baixo uso de HC, já que o principal apoio educativo do professor é o livro, e o mesmo não aborda convictuamente a HC e sim uma aprendizagem ultrapassada, a qual é popularmente conhecida como aprendizagem mecanicista.

2.3 Utilização da História da Física no Ensino de Física

Muito se debate a respeito da utilização da história da ciência no ensino, que para o nosso caso em específico é reformulado como a história da Física no ensino da própria. Compreendemos que a primeiro ponto o corpo docente é vítima de um sistema falho, que por razões, financeiras ou até mesmo de status são “obrigados” a aplicarem uma física linear e constante, baseada apenas em determinações físicas, em suma, em seus cálculos, pois afinal de contas será com respeito a essas determinações que os discentes serão cobrados em vestibulares e afins, assim como Frederico Cruz (1988) em uma mesa redonda levanta:

> A gente acaba fazendo da Física uma ciência bastante operacional, na medida em que desconsidera a Filosofia e a História, julgando-as incômodas, uma perda de tempo. Desta forma, “não vou dar uma coisa dessas a um aluno meu, pois, afinal de contas, ele tem que aprender

> rápido como resolver a equação de Schröedinger para o poço quadrado". [...] Está aí a Física que, mais uma vez, é incorruptível, não é histórica, não tem dinâmica, é limpa e operacional, fácil de manipular. Então o que volta é a pergunta: como construir uma realidade sem ter uma noção mínima do que é esse processo? A Física é apresentada de forma bonita, perfeita e linear e, no entanto, não se faz Física desse jeito. A História da Ciência parece-me um caminho de como trazer à tona o real processo de construir a ciência, de fazer e aprender a ciência. (CRUZ, et al 1988, p. 76-77).

Embora, ele utilize como exemplo um conteúdo mais voltado para o ensino superior, é claramente possível de analisar uma situação dessas no ensino médio. E também em cima desse texto de Cruz, podemos indicar o segundo ponto, que desta vez a balança penderá para docência, talvez por descriminação da importância do conteúdo histórico, ou talvez por seu baixo embasamento em sua formação acadêmica, ou até mesmo por desinteresse – considerando que como mencionado na introdução, não estaremos considerando nessa pesquisa o caso específico do docente não formado na área – E nestes dois pontos obteremos resultados significantes e congruentes, entende-se que este ensino não baseado na história científica, resultará numa interpretação errada sobre o que é fazer ciência, indicando aos discentes então que a Física é direta e sempre exata, não dar-se-á oportunidade deles compreenderem o processo científico, e que as descobertas cientificas são estudos que duram anos, as vezes séculos.

É neste âmbito discursivo que caímos em mais um problema – o terceiro ponto - causado pela não explanação do contexto histórico no ensino de Física, pontuado por Zanetic (1988) nesta mesma mesa redonda supracitada:

> O ensino de Física não pode ser enciclopédico. Você não vai conseguir passar desde a Física clássica até a Física Contemporânea. Esse é outro desafio porque, em geral, no ensino médio a gente fica na clássica, e a contemporânea, que é a Física que não mexe só com o imaginário, mas com o mundo real, que aí está, não é dada. Desta, muitas vezes, não se discute, no ensino da Física, questões políticas como o acidente radioativo de Goiânia, a Energia Nuclear no Brasil, etc. Este fato acaba gerando uma desinformação generalizada acerca de importantes eventos relativos à vida das pessoas. A educação também não pode abarcar todo o universo, no entanto, o mínimo que ela deve fazer é ensinar o aluno a estudar, a consultar a biblioteca e outras fontes de informação (ZANETIC, et al 1988, p. 79).

Compreende-se que por meio da fala de Zanetic o contexto histórico abordado no ensino não só agrava no entendimento da criação da ciência, mas também interfere no que diz respeito aos acontecimentos cotidianos, em resumo, a abordagem da História da Ciência não é apenas para entender o passado, mas também para entender o presente, compreender que a ciência está em volta de vários acontecimentos, e que a utilização da História da Ciência reduz o número de estudantes alienados, que por vezes não conseguem relacionar questões políticas, problemas ambientais e etc. ao que foi visto em sala de aula, devido à baixa assimilação com as experiências histórico-científicas.

Entende-se que a utilização da história da ciência se faz necessária na sala de aula não só pela questão de aplicação de conteúdo, pois haverá possibilidades infinitas de ensino de certos conteúdos que poderão ser considerados uteis e que por sua vez trarão bons resultados, entende-se que a aplicação da história da ciência se faz necessária no que diz respeito a compreensão do processo cientifico, no entendimento de questões políticas e ambientais, e na relação aluno-ciência.

Com o intuito de conseguir propor para os discentes que a ciência não é linear, que existirão contribuições até criar-se certa “lei” e que não existem “gênios” que embora as determinações carreguem seus nomes como geralmente, não significa que a descoberta é unicamente dele e apenas dependeu dele, como levantará Cruz (1988) ainda na mesa redonda:

> Todo este caráter especulativo, poético, criativo, esta busca por um conhecimento nem sempre transformável em coisas práticas, é natural no ser humano. As pessoas têm perguntas a fazer e têm que conseguir os meios para respondê-las. Neste sentido, a História pode não ser prática, mas torna a Física mais humana, pois mostra o seu processo, desmistificando o fato de ela parecer inacessível. Para quem não conhece a sua História, parece que as suas descobertas foram feitas sempre por gênios. (CRUZ, et al 1988, p. 80)

Nossa pesquisa se baseia nesses fatos, entendendo que a história da ciência pode ser utilizada como ferramenta de ensino, assim como outras ferramentas mais “populares” como experimentação, simulação e etc. e que tem como maior contribuição ao desenvolvimento dos discentes na compreensão de mundo, esta tarefa não é tão simples como parece, entendemos que os professores passarão por inúmeras circunstâncias na sala de aula, mas, acreditamos que o ensino de Física não deve resumir-se a simplesmente

aplicação de fórmulas, esse tipo de ensino é necessário, porém ele não pode ser o único, quando trazermos uma discussão a respeito do conteúdo, deve ser explanado o contexto histórico e outras coisas que o docente julgar necessário, segundo Zanetic (1988):

> Aí você tem que saber porque ensinar Física e que Física. Em geral a gente vê a Física tipo o Ramalho, quando se pensa no ensino médio, que é a Física que prepara para o vestibular. No entanto, a maioria dos alunos não tem acesso à Universidade e mesmo aqueles que lá chegam, em sua maioria, não irão estudar Física. Então é preciso que se discuta como inserir neste ensino a História da Ciência para passar ao aluno muito mais do que simples fórmulas, algo que eu chamaria de cultura científica. É evidente, no entanto, que a História da Física não deve substituir a formação conceitual. (ZANETIC, et al 1988, p. 78)

É preciso entender como deve-se aplicar a história da ciência, pois não é como se fosse explanar de qualquer maneira, é necessária uma análise de qual a melhor maneira de comentar e aplicar, entender que a história da física não substitui o ensino formal e que a inversa é válida, portanto é importante compreendendo este ponto que o docente consiga relacionar as duas circunstâncias uma como validação da outra.

2.4 Percepção autoral quanto a HC na sala de aula

Assuntos importantes como esse e tantos outros não podem ser aplicados de forma mecanicista, de difícil entendimento e que de certa maneira são introduzidas em sala de aula apenas as equações, sem uma possível argumentação, texto e ou discussão de conteúdo, como afirma o Prof. Luis Carlos Menezes da USP, a uma entrevista da Nova Escola realizada por Beatriz Vichessi;

> [...] Os cálculos fazem sentido quando explicitam algo. Por isso, uma fórmula que nos leva a compreender um conceito dessas duas disciplinas (Química e Física) não pode ser ponto de partida da aula. Se isso acontece, o estudante só enxerga uma sentença com incógnitas e números, coisas sem lógica. Assim a ciência é empobrecida. Só ficam os cálculos e o conceito se perde. Não é à toa que nessa situação terrível a turma decora a matéria para passar na prova e depois esquece o assunto, não quer nem ouvir falar no que foi ensinado ou não se lembra do conteúdo no futuro. (VICHESSI, 2013, p. 1).

Sabendo disso, de que forma o professor como mediador do assunto pode contornar estes problemas e ensinar o conteúdo de forma clara, objetiva e coerente? Para isso, professores que ensinam Física, precisam irem em busca de metodologias mais flexíveis que fujam dos padrões mecanicistas, tais como utilização de HC no ensino, trabalhos com jogos, experimentação e etc. Não é

raro, quando se é observada a aula de um professor “conservador” ou “inseguro”, ver que ele não sai dos padrões do livro didático e apenas reescreve do livro para a lousa, o que faz desta prática algo totalmente ultrapassado e, de certa forma, nocivo para o aluno.

Pode-se argumentar a respeito desse posicionamento do professor, e agora com HC em foco, que suas aulas acabam padrões devido ao próprio esforço dos livros didáticos em pouco falarem ou a ponto de eliminarem a HC de suas argumentações a respeito dos conteúdos. Isso claro, é apenas um ponto dentre outros, tais como, o sistema educacional que pouco preza o conhecimento histórico de Ciências nas avaliações de Enem e Vestibulares, isso analisando de forma macroscópica. Porém a cultura das escolas não é diferente disso, forçando então o professor a ser prático e cobrar em suas avaliações aquilo que serão cobrado dos alunos para ingressarem em Universidades, e esta informação nos da ‘’brecha’’ para entrarmos em mais um ponto: a predisposição do alunado em querer aprender determinado conteúdo seguindo determinada metodologia. Para isso trago Moreira:

> Não se trata exatamente de motivação, ou de gostar da matéria. Por alguma razão, o sujeito que aprende deve se predispor a relacionar (diferenciando e integrando) interativamente os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a, elaborando-a e dando significados a esses conhecimentos. Pode ser simplesmente porque ela ou ele sabe que sem compreensão não terá bons resultados nas avaliações. **Aliás, muito da aprendizagem memorística sem significado (a chamada aprendizagem mecânica) que usualmente ocorre na escola resulta das avaliações e procedimentos de ensino que estimulam esse tipo de aprendizagem** (MOREIRA, 2010, p.8, grifo nosso)

Ou seja, Moreira é muito feliz em fazer essa argumentação, pois ela relaciona justamente os pontos que havíamos mostrado anteriormente. Percebe-se então que a prática na sala de aula mecanicista existe, mas existe devido a necessidade que os professores têm de trabalharem com isso, para que possam cumprir com uma demanda do sistema educacional, avaliar por meio de processos práticos que estimulam o alunado a memorizarem, promovendo uma aprendizagem não significativa, e isso é exatamente o que pretendemos evitar nesta pesquisa.

Para uma metodologia mais flexível, é necessário entender de inicio que a aprendizagem precisa ser significativa. Uma aprendizagem significativa é uma

aprendizagem em que um conteúdo que esteja sendo estudado se relacione de alguma maneira a algum conteúdo já apreendido pelo aluno, ou seja, aprendizagem significativa é quando se há a interação de algo já compreendido com algo novo, segundo David Ausubel:

> “A essência do processo de aprendizagem significativa é que idéias simbolicamente expressa sejam relacionadas, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, ao que o aprendiz já sabe, ou seja a algum aspecto de sua estrutura cognitiva especificamente relevante (isto é, um subsunçor) que pode ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito ou uma proposição já significativos (AUSUBEL, 1978, p. 41).

Para serem identificados os “subsunçores” dos alunos é necessária uma investigação, portanto uma avaliação diagnóstica, que é quando se tem interesse em conhecer se o aluno apresenta ou não determinados conhecimentos ou habilidades que são necessários para apreender algo novo (pré-requisitos). Por exemplo, quando realizamos uma prova para verificar se o aluno (ou um grupo de alunos) tem conhecimentos suficientes sobre a multiplicação e a divisão, para que possa aprender uma regra de três, estamos utilizando a avaliação como função de diagnóstico. Mas, caso o professor pretenda firmar cognitivamente o subsunçor no alunado para que o alunado entenda o conteúdo posterior, também é válido. É como se o professor fosse reponsável por determinada turma durante os três anos de ensino médio, e pensasse a longo prazo quando no primeiro ano trabalhasse com força gravitacional, para que no terceiro ano pudesse aplicar força elétrica (Lei de Coulomb) baseado simbolicamente na equação que ele próprio forneceu há dois anos.

Fazemos essa analogia, pois em casos específicos quando os professores dos três anos de ensino médio são diferentes, cada um terá sua própria metodologia de ensino e se caso o primeiro decidir não falar sobre força gravitacional o último não conseguirá fazer esse link da lei de Coulomb com a força gravitacional. Porém, isso não significa que não possa haver uma aprendizagem significativa se os professores forem diferentes, o ponto deste argumento é se será ou não apresentado o conteúdo que servirá como subsunçor para o posterior.

3 UM BREVE APANHADO HISTÓRICO

Neste capítulo apresentaremos também três tópicos, dois que evidenciam o contexto histórico. No primeiro trazemos o contexto histórico antes da conclusão de Coulomb, um apanhado sucinto e relativamente breve focado nos estudos da eletricidade com e com algumas menções do magnetismo, do seu ínicio com seus famosos objetos estudados, o âmbar para a eletricidade e a pedra d'Heracléia para o magnetismo até os estudos mais avançados no século XVIII, já que os avanços dos dois foram congruentes e semelhantes em especial na linha do tempo.

No segundo tópico, abordamos a respeito da pessoa Coulomb, seus cargos e estudos ao longo da sua carreira, suas contribuições para o eletromagnetismo, uma breve biografia. E falaremos sobre sua experimentação utilizada na conclusão da Lei, como ele pensou, como obteve os resultados, entender um pouco do que pensou Coulomb ao estudar, e explicitar a balança de torção, experimento utilizado para estudos de torção em fios, que acabou vindo a calhar no entendimento da interação elétrica entre cargas.

3.1 De a.C. até o Século XVIII

É comum vermos em boa parte dos livros didáticos, inclusive nos cinco em que avaliamos, que o inicio da eletricidade se deu com Tales de Mileto (546 a 625 a.C), e seus estudos a respeito do âmbar e sua influência no que diz respeito a atração de objetos leves (pelos, plumas e etc.), foi observado por Tales que âmbar quando atritado era capaz de atrair tais objetos. No entanto, segundo (ASSIS, 2010) escavações arqueológicas mostraram que o âmbar já era conhecido muito antes de Tales determinar tais configurações de atração, e este objeto era utilizado pelas pessoas como objeto de decoração, só que não havia nenhum registro a respeito das propriedades elétricas deste material. O que acaba parcialmente concordando com os textos dos livros didáticos, pois de fato as propriedades elétricas surgem com Tales, porém o âmbar surge antes de Tales, assim como afirma (ASSIS, 2010) que a citação mais antiga a respeito do âmbar está na obra Timeu, por Platão (428-348 a.C), eis um trecho:

> Senão, vejamos: não existe nenhum vazio no qual poderia penetrar um corpo qualquer em movimento e, em nós, o sopro respiratório se move

> de dentro para fora. O que se segue é então o evidente para todos. Este sopro não pode ir para o vazio, mas deve deslocar de seu lugar o ar que o rodeia. Por seu turno, a camada de ar deslocada também desloca a camada vizinha, e o todo se encontra deslocado desta maneira circularmente para o lugar de onde saiu o sopro respiratório: penetra aí, preenche e segue imediatamente o sopro respiratório. E todo esse movimento tem lugar sem interrupção, à maneira da roda que gira, por não existir nenhum vazio. [...] O mesmo vale para os cursos d'´agua, para a queda do raio, para os fenômenos maravilhosos de atração, produzidos pelo âmbar e pelas pedras d'Heracléia. Em nenhum desses efeitos jamais, em verdade, existe virtude atrativa. (Pla, Seções 79 a 80, p. 163-165 apud ASSIS, 2010, p. 17-18)

Note que neste breve texto de Platão, as propriedades do âmbar eram vistas como coisas que deveriam acontecer, assim como o vento sopra, assim como a água "escorre" e etc., nota-se que nesta época, o comum eram explicações filosóficas para acontecimentos da natureza[2] e, portanto, esses acontecimentos do âmbar e da pedra d'Heracléia (que nada mais é que uma pedra-imã que é a partir da própria que se dá o início dos estudos do magnetismo), eram vistos como coisas que aconteciam devido a não existência do vazio, que então retornavam ao seus lugares de origem (ASSIS, 2010), tanto é que acreditava-se que a pedra d'Heracléia possuía uma alma, e por essa razão era capaz de fazer com que os objetos fossem atraídos até ela. Um ponto interessante a respeito dessas argumentações, é que as propriedades atrativas do âmbar e a pedra d'Heracléia não eram vistas com distinções. Acreditava-se que as duas atraíam da mesma forma, porém fica a ressalva que o âmbar precisava ser atritado para que pudesse atrair, enquanto a pedra d'Heracléia a atração acontecia de forma fluída e permanente, com materiais específicos como por exemplo, os metais.

Seguindo nossa breve linha do tempo e entendemos a linha do tempo aqui não como que os avanços da ciência são de forma lineares, este termo é utilizado apenas para ter-se uma noção de que estamos tentando elencar as contribuições da ciência ao passar dos anos, mas haverá menções de cientistas

[2] Neste caso, fazemos essa menção devido à escassez de empirismo na época, por isso as explicações racionais, ou seja, baseadas em fundamentos filosóficos, eram as melhores conclusões.

que nem sempre estarão conforme a linha do tempo, teremos então o próximo avanço do eletromagnetismo, datado apenas em 1044 d.C, o avanço vem pelos chineses que descobrem o imã como potencial instrumento para orientação, capaz de indicar direções, o que consequentemente leva a compreender que a terra seria um grande imã (SILVA, 2013). E é neste mesmo ano que os chineses publicam o livro intitulado como *"Compêndio das Técnicas Militares Importantes",* a qual o autor Zeng Gong-Liang já apresentava as propriedades/características da agulha magnética (SILVA, 2013).

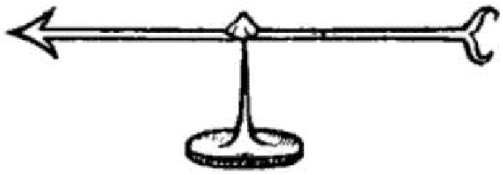
Vale a ressalva do cientista ou filósofo natural, como eram conhecidos na idade média, Petrus Peregrinus que fez suas contribuições a respeito do magnetismo, em sua obra *Epístola de Magnete,* em qual buscou explicar os fenômenos elétricos e magnéticos, porém não fazia uma distinção entre as atrações magnéticas e elétricas, infelizmente sua obra foi ignorada até o século XVI. E por essa razão comumente são vistos em relatos históricos apenas as contribuições de Gilbert, que acabou tomando os holofotes neste século.

Temos então um salto de alguns séculos desde Ziang, na nossa caminhada na linha do tempo, e chegamos ao século XIII na Europa, com o Pierre de Maricourt e sua contribuição a respeito dos imãs. Ele define que mesmo o imã sendo dividido as duas partes obterão os dois polos, como antes, isso nos remete exatamente ao estudo que temos até hoje a respeito dos imãs, embora o imã seja cortado em vários pedaços, os mesmos apresentarão sempre os dois polos, o que os caracterizam como dipolos, e até então, - embora tenha havido tentativas – ainda não foi possível obter um monopólio magnético.

Três séculos mais tarde, no século XVI, apresenta-se Wiliam Gilbert (1544-1603), com seu livro The Magnet que apresentava os estudos históricos a respeito da pedra-imã e descreve experimentalmente e detalhadamente como funciona o magnetismo terrestre (SILVA, 2013). No entanto, ele não para por aí e ainda consegue em sua obra denominar termos, como o termo "elétrico" definido por ele como todo material capaz de ao atritado, atrair outros materiais assim como o âmbar, e por sua consequência determinou os materiais não-elétricos, é a partir dessa afirmação que a eletricidade deixa de ser exclusividade do âmbar, mas também para outros materiais. Definiu ainda na mesma obra que as atrações elétricas proporcionadas pelo âmbar eram diferentes das atrações

magnéticas provenientes da pedra d'Heracléia. Existem dois pontos que devem ser levados em consideração na obra de Gilbert, o primeiro trata-se da crença que o mesmo tinha a respeito dos aspectos microscópicos da interação entre os materiais, ele acreditava que a atração se dava devido a liberação de um eflúvio[3] ocasionado pelo calor produzido quando os materiais eram atritados. O segundo trata-se da época em que ele fez sua pesquisa, coincidentemente bate com as datas da revolução científica, e é exatamente nessa época que o empirismo[4] ganha força, e devido a esta crença Gilbert se vê na obrigação de criar algum aparato, dessa forma surge o versorium (figura 2.1).

Figura 1 - Versorium de Gilbert



Fonte: Retirada do site ResearchGate[5]

Esse aparelho serviria para identificação de eletricidade eletrostática, semelhante a um eletroscópio. Registros históricos informam que este pode ser considerado o primeiro eletroscópio fabricado (VASCONCELOS, 2005), sua função nada mais é que apontar para os corpos eletrizados, semelhante a agulha de uma bússola.

Houveram ainda outras contribuições de Gilbert no que diz respeito ao magnetismo; determinou que a intensidade de atração de uma esfera magnética era maior que a de uma barra, em outras palavras, a força magnética depende da forma geométrica do material, e entendendo que a terra era um grande imã, ele propôs que analogamente aconteceria com os outros planetas e o sol, apresentando um modelo explicativo coerente com o modelo astronômico copernicano (SILVA, 2013).

Chegamos ao século XVII, e até o início deste século houveram pouquíssimas contribuições acerca da eletricidade, isso acontece depois que

[3] Emanações emitidas pelos corpos eletrizados

[4] Para a filosofia, empirismo teoriza que o conhecimento é proveniente apenas de uma experiência sensorial, por isso a menção aos experimentos científicos.

[5] Disponível em: < https://www.researchgate.net/figure/Figura-33-II-versorium-di-Gilbert_fig7_322802050>. Acesso em: 30 out. 2020

Girolamo Cardano (1501-1576), distingue os fenômenos elétricos dos magnéticos em sua obra On Subtlety[6], depois de sua contribuição houveram anos de improdutividade[7], até o início do século XVII, quando surgem os primeiros comentários, textos e etc., sobre repulsão elétrica. Um ponto importante a ser levado em consideração aqui, é que embora a repulsão só venha sido tratada no século XVII, isso não significa que esse fenômeno não acontecia, muito pelo contrário, pois assim como hoje, os fenômenos de repulsão e atração sempre existiram, porém acreditava-se desde a antiguidade que a repulsão era causada não pelo âmbar, mas sim por conta dos fatores externos, como por exemplo o vento. E a respeito desse tema tem-se três nomes a serem mencionados, os primeiros são Otto Von Guericke (1602-1686) e Niccolo Cabeo (1596-1650), estes não fundamentaram a repulsão elétrica, no entanto em seus trabalhos eles chegaram a mencionar a possibilidade da existência da repulsão, e é aí que Charles François de Cisternay Du Fay (1698 - 1739), fundamenta a repulsão com base empírica, explicando-a da seguinte forma:

> "Até hoje sempre consideramos a virtude elétrica de forma geral, e sobre esta palavra entende-se não apenas a virtude que os corpos elétricos possuem de atrair [copos leves colocados perto deles, como uma penugem ou uma pequena folha de ouro], mas também a virtude de repelir os corpos que eles atraíram. (ROCHA, RIBEIRO FILHO, 1999, p. 457 apud SILVA, 2013, p. 31)

Neste mesmo século, tem-se também a descoberta das ações elétricas mútuas, (SILVA, 2013). Que foi relatado nos trabalhos de Honoré Fabri (1607 - 1688) e Robert Boyle (1627-1691), outros autores antes destes como Gilbert, Cardano e Cabeo, admitiram em seus trabalhos as ações magnéticas mútuas, mas desconsideraram que o mesmo fosse equivalente para a eletricidade, algo que hoje é totalmente aceito e considerável, e melhor conhecido como interação elétrica ou magnética.

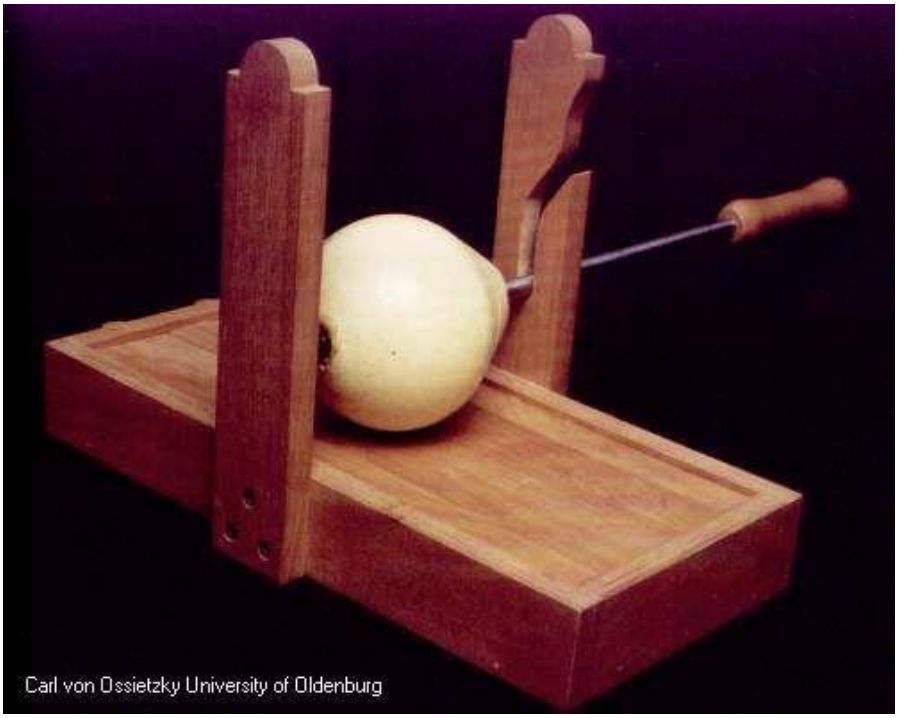
Com a revolução científica no século XVII, o empirismo tomou força e virou quase que essencial para todos que queriam estudar eletricidade e seus conceitos. A partir deste século obtém-se algumas boas contribuições que de certa forma refletem até no que temos hoje. No que diz respeito a tecnologia na eletricidade, além dos experimentos de Gilbert supracitados, houveram outros

[6] Na tradução literal seria algo próximo de *Sutileza* ou *Sutil*

[7] Isso não significa que não haviam cientistas estudando o tema durante esses anos, isso indica apenas que durante estes anos não houveram registros históricos.

contribuintes em questão, Guericke, foi o primeiro a construir uma máquina eletrostática. De forma resumida e breve, era uma esfera de enxofre presa a duas hastes de madeira, ao longo de um eixo central que garantia a rotação desta esfera, hoje esta máquina é considerada a primeira máquina elétrica da história.

Figura 2 – Réplica da Máquina Eletrostática de Otto Van Guericke



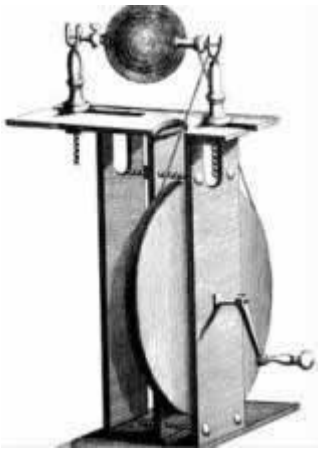
Fonte: SILVA, 2013, p.32

O curioso a ser mencionado neste experimento de Guericke, é que embora como citado antes, ele tenha mencionado a repulsão em seus estudos, quando observou tais reações em sua máquina, ele considerou que a repulsão era algo que deveria acontecer, assim como uma pedra ao ser largada, cairia.

Adiante, no meio termo dos séculos XVII e XVIII, desenvolveu-se um pensamento que visualizava a eletricidade como fluído e que inclusive era possível ser armazenado, assim como era possível armazenar os demais fluídos conhecidos, e nessa linha de raciocínio surge Pieter Van Musschenbroek e sua famosa garrafa de Leyden. Formada por um recipiente de vidro, tampada com uma rolha e com suas paredes externas e internas revestidas com uma fina folha de prata, cheia pela metade com água e com um condutor metálico em seu interior, centralizado. Pieter obteve sucesso, foi capaz de armazenar energia em

sua garrafa, carregando-a com a máquina eletrostática de Hauskbee, que grosso modo era simplesmente uma máquina de Otto aprimorada com maior torção disponível para geração de eletricidade.

Figura 3 – Máquina Eletrostática de Hauskbee



Fonte: Retirada do site Cecierj[8]

A garrafa de Leyden, tem este nome, devido a cidade em qual Pieter viveu, na Holanda, e ela foi considerada por muitos como o primeiro capacitor construído.

Figura 4 – Garrafa de Leyden

Fonte: Retirada do site Cecierj

E então, tem-se um compilado de experimentos, com Stephen Gray (1666-1736) que se inspirando em Francis Hauskbee (1666-1713), decide identificar eletricidade de corpos através de linha de ceda ou algodão, usou uma

[8] Disponível em < https://extensao.cecierj.edu.br/material_didatico/cee1809/scripts/pop_mod03_NaturezaEletricaDaMateria.html> Acesso em 03 de Nov de 2020

espécie de eletroscópio que tinha um par de linha de seda ao redor de um globo eletrizado, e dessa forma conseguia aferir a intensidade de eletrização produzida no globo através da divergência/curva entre as linhas de seda que faziam, devido a repulsão elétrica entre elas. Hoje esse conceito é conhecido como causado pelo potencial elétrico (SILVA, 2013). Além disso houveram outros experimentos de Stephen Gray, em quais ele foi capaz de determinar o conceito da condução elétrica, e entendendo a eletricidade como um fluído, foi capaz de desbancar Gilbert com o *elétrico e não-elétrico,* e então determinar um novo conceito para os corpos capazes de conduzir e os que não, estes como sendo condutores e isolantes, respectivamente.

Ainda a respeito do século XVIII, um incrível século para os avanços da eletricidade, ademais devido ao crescimento do empirismo, o que de certa forma facilitou tanto o entendimento quanto a aceitação do conceito estudado na época, na terceira década deste século surge os estudos de Du Fay, , que além de seus estudos a respeito da repulsão, o mesmo trás o pensamento de que a energia vista como um fluido, possui na verdade dois fluidos, um como sendo devido à fricção de materiais com Cristal e outro devido a fricção de materiais com resina, nessa linha de pensamento ele categoriza os dois fluidos como eletricidade vítrea (Cristal) ou resinosa (Resina). E ele conclui que os corpos se atraíam quando eletrizados pelos opostos (Vítrea e Resinosa), e se repeliam quando eletrizados pelo mesmo fluído.

Neste contexto, Benjamin Franklin (1706 - 1790) questiona o pensamento de Du Fay, e diz que na verdade a eletricidade possui um único fluido, e que basicamente o corpo carregado estaria com excesso ou falta desse fluido, e que a matéria em estado natural é simplesmente neutra. Esse embate de pensamentos só viria a ser evidenciado com a veracidade no século posterior com a contribuição de J.J. Thompson (1856-1940), e sua descoberta do elétron, não admitindo por tanto a existência de um ou dois fluidos, evidenciando a eletrização dos corpos devido à falta ou excesso de elétrons.

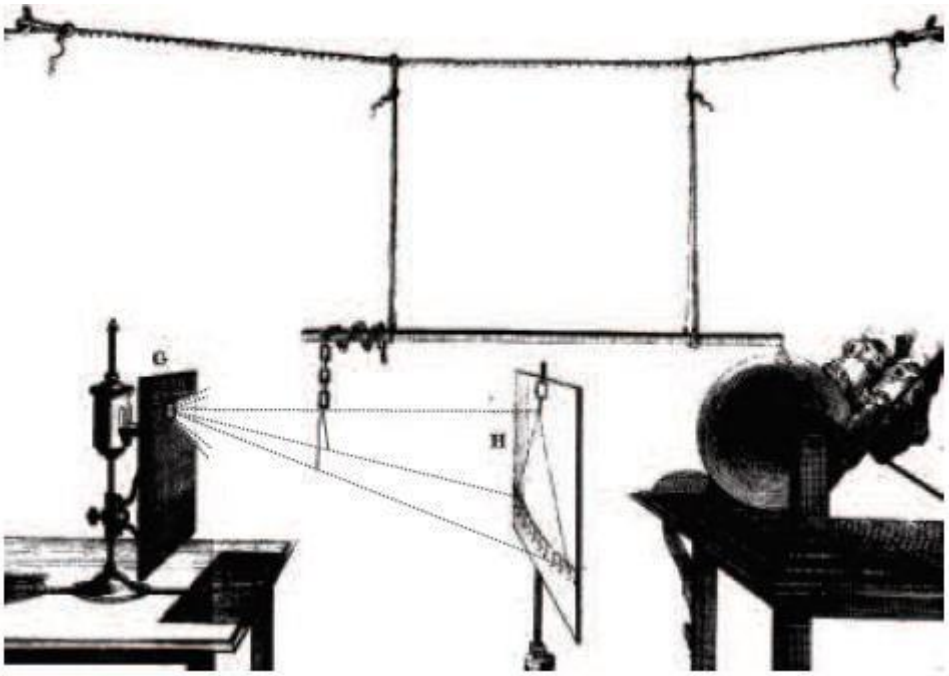
Benjamin Franklin, também teve seu episódio e contribuição na linha do tempo da eletricidade, uma contribuição um pouco curiosa, mas ainda assim de grande ajuda no caminho da eletricidade. Ele foi o autor do famoso experimento do papagaio ou pipa, esse experimento se resume em duas etapas, na primeira,

Franklin carregou uma garrafa de Leyden com uma descarga elétrica proveniente de um raio, um experimento bem perigoso, mas que obteve sucesso, não contente com tais resultados ele buscou um experimento ainda mais perigoso, em um dia tempestuoso ele empina um pipa, na intenção de que a mesma fosse atraída por um raio, e quando isso acontece, infelizmente o experimentador vem a óbito, acontece que antes da sua morta, ele foi capaz de construir o modelo para o funcionamento do para-raios, conhecidos e utilizados até hoje. E dessa forma ele consegue concluir que a descarga elétrica proveniente de uma nuvem é de mesma natureza de uma descarga elétrica produzida em seu laboratório (R.I.P. Franklin).

Como já mencionado anteriormente a respeito do empirismo, era o momento do avanço depois das descobertas empíricas de Franklin, a comunidade científica começou a perceber que se faziam necessário a criação de instrumentos com fins práticos, capazes de aferir o que estava em estudo, e nessa temática notaram que a princípio seria necessários instrumentos que aferissem quantitativamente a eletricidade, o que conhecemos hoje por eletrômetros, estes têm sua primeira aparição no século XVIII.

É quando Jean Antonie Nollet (1700-1770), em 1747 nesta perspectiva de aferições quantitativas, melhora o instrumento de detecção elétrica utilizando linhas de Gray, que funcionava de forma objetiva quando as linhas eram eletrizadas e caracterizava uma deflexão, e as sombras desta deflexão eram projetadas em uma tela graduada, permitindo uma melhor precisão no ângulo α defletido, este instrumento foi intitulado por Nollet como *eletrômetro* (SILVA, 2013).

Figura 5 - Eletrômetro de Nollet



Fonte: SILVA, 2013, p.36

Em cima do feito de Nollet, Giovanni Beccaria (1716-1781) aperfeiçoa a ideia dizendo que ao invés dessa deflexão ser analisada pelo ângulo α, deveria ser levado em consideração o seno deste ângulo, não há evidências, mas acreditamos que essa decisão esteja atrelada aos estudos de força feitos por Newton, pois trata fielmente da decomposição de força, e é a partir deste ponto histórico, que começa os avanços no que diz respeito a força elétrica, contribuindo inclusive para as ideias de trabalho da força elétrica e energia potencial elétrica, que só são conclusivas no século XIX, tendo estes estudos acelerados depois deste experimento (SILVA, 2013).

A “corrida” pela descoberta da força elétrica inicia-se ainda na primeira parte do século XVIII com Jean Baptiste Leroy (1720-1800) e Patrick D’Arcy (1725-1778), eles construíram um aparato experimental que consistia em um flutuador e uma haste imersos na água, em cima de um prato, ao aproximar outro prato eletrizado, havia produção de indução elétrica, resultando na imersão do primeiro prato, e ao colocar pesos sobre esse prato era possível aferir a força elétrica. Este mesmo aparato chegou a ser utilizado por Daniel Bernoulli na segunda metade do século XVIII, a fim de determinar quantitativamente a relação

da força elétrica com a distância e conseguir uma relação matemática, porém sem êxito.

Ainda no século XVIII, Franklin – o mesmo que contribuiu para a construção do para-raios – contatou o amigo cientista Joseph Priestley (1773-1806), informando-o que em um dos seus experimentos casuais observou que um recipiente metálico isolado não apresentava fluido elétrico em seu interior. Priestley partindo dos estudos de Newton, no que diz respeito a não existência da força gravitacional no interior de uma casca esférica, por analogia concluiu que a força elétrica obedeceria também a lei do inverso do quadrado da distância que conhecemos hoje, porém, sem evidências científicas, baseado majoritariamente no racionalismo.

É quando então, Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) foco histórico deste trabalho, apresenta seus estudos. Até então não haviam instrumentos que possibilitassem aferir quantitativamente a força elétrica, embora tenham sido construídos alguns que conseguiram detectar a força elétrica, como visto anteriormente. Coulomb foi o único que temos registro histórico capaz de quantificar a força elétrica atuando entre dois corpos eletrizados.

3.2 Charles Augustin de Coulomb e sua balança esclarecedora

Coulomb viveu na França, nascido em Angoulême, numa família de magistrados, em 14 de junho de 1736. Fez parte do corpo de engenheiros militar e foi enviado para a Martinica (departamento ultramarino insular francês) no Caribe, onde ficou por nove anos. Coulomb não apenas contribuiu para com a eletricidade como também é vários outros quesitos. Com engenheiros trabalhou com Mecânica Aplicada em construções, sobretudo em problemas de fortificações em construções, flexão de vigas, ruptura de alvenaria, pressão da terra, estabilidade de arcos e etc. em sua volta à França, voltou a trabalhar em seu projeto *Memórias* que lhe rendeu o título de *Correspondente da Academia de Ciências da França.* (SILVA, 2013)

Esta mesma academia premiou Coulomb e Van Swinden (1746-1823), por suas contribuições a respeito das agulhas magnéticas em 1779, dois anos

depois Coulomb foi premiado pela mesma Academia por sua teoria a respeito das máquinas simples, neste mesmo ano determinou-se a estudar particularmente as leis do magnetismo e da eletricidade, em Paris. Entre 1784-1789, ele escreveu suas *Memórias* essenciais a respeito das Leis da torção, Leis de ação elétrica e magnética e a distribuição de eletricidade e magnetismo nos corpos (SILVA, 2013).

Ao início da Revolução Francesa em 1789, Coulomb era além de Tenente-Coronel dos engenheiros, intendente geral das fontes da França. Coulomb pediu demissão dos seus cargos militares, ao passo que a Academia da França a qual ele fazia parte do conselho de peso e medidas, fechou e Coulomb foi despachado, em consequência foi forçado a deixar Paris a caminho de Blois. Depois ele retorna a Paris na criação do Instituto da França, e é nomeado inspetor geral de estudos. Com sua saúde comprometida vem a óbito em 23 de outubro de 1806.

Figura 6 – Charles Augustin de Coulomb

Fonte: Retirada do site Sparkfun[9]

Em 1807, Delambre (1749-1822) encontra as obras de Coulomb indicadas em quais ordens deveriam ser publicadas, é quando surge sua obra *Memórias* recheada de descobertas. Desenvolveu a lei de ação e repulsão para o magnetismo e para a eletricidade, definiu que a superfície interior de um

[9] Disponível em https://learn.sparkfun.com/tutorials/ltc4150-coulomb-counter-hookup-guide/what-is-a-coulomb, acesso em 20 de nov de 2020

condutor eletrificado não é eletricamente carregada, e a densidade de carga em cada ponto do condutor é proporcional à força, demonstrou a proporcionalidade para a velocidade da resistência dos fluidos a partir da viscosidade ou atrito interno e por fim, descobriu as leis da elasticidade da torção.

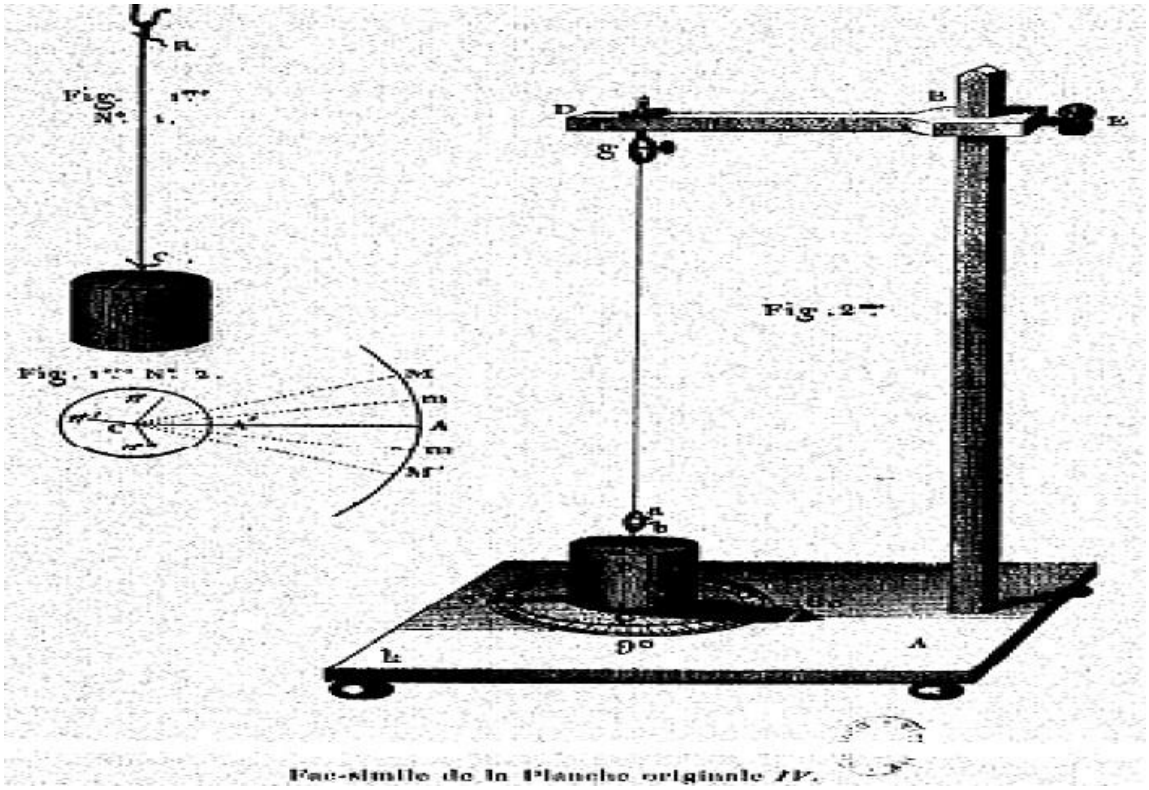
É justamente seus estudos sobre a elasticidade da torção em fios de seda ou de cabelo, que o fazem estudar a respeito da interação elétrica. Coulomb observou que a força exercida por qualquer fio torcido contra a sua torção (o torque da reação) utilizando uma balança de torção, ilustrada abaixo, concluiu que a força de torção num fio é descrita pela seguinte equação (SILVA, 2013):

$$\vec{F_c} = \omega \frac{\alpha D^4}{l}$$

Equação 1 – Força de Torção num fio.

Onde l é o comprimento do fio, D o diâmetro do fio, α o ângulo de torção e ω uma constante característica que depende da natureza do material.

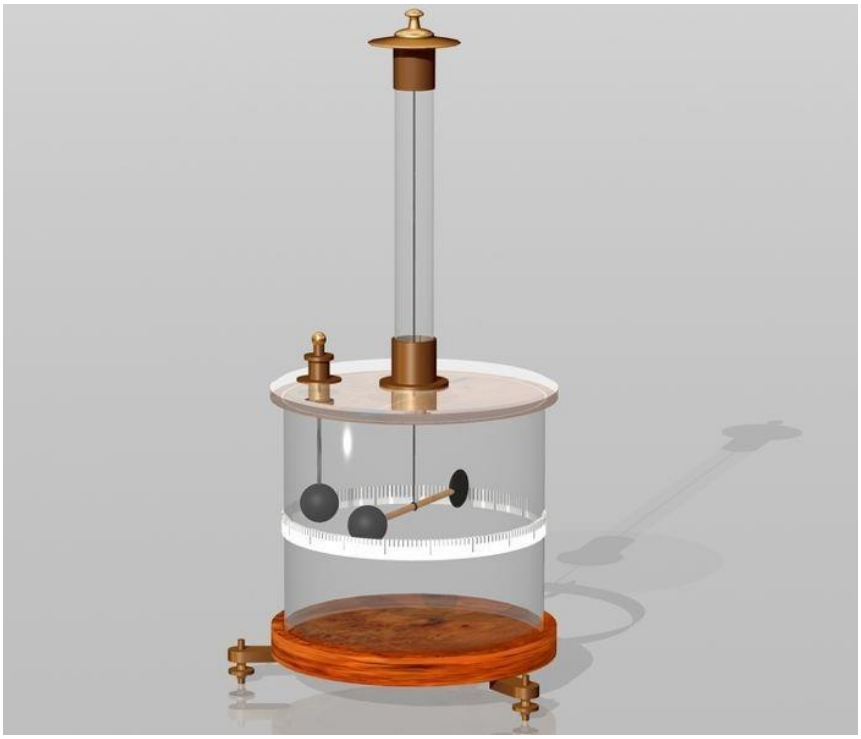
Figura 7 - Balança de Torção em fios utilizada por Coulomb



Fonte: SILVA, 2013, p 41

Entendendo que o torque é proporcional ao ângulo de torção, Coulomb percebeu que utilizando fios torcionados poderia medir determinadas forças (mecânicas, magnéticas etc.). Usando fios muito finos, em hipótese ele seria capaz de medir forças fracas. É quando então ele faz um aperfeiçoamento da sua balança para que fosse capaz de medir a repulsão elétrica, no intuito de mostrar a repulsão de um objeto eletricamente carregado de outro situado numa das extremidades de uma alavanca suspensa por um fio. Esta “nova” balança (figura 2.2.2) era composta por uma haste/alavanca suspensa por um fio e em cada uma de suas extremidades há uma esfera. Tendo outra haste também com uma esfera, só que eletrizada. O procedimento desse experimento hoje com o avanço tecnológico e da ciência é simples e intuitivo, porém na época foi um grande feito, Coulomb aproximava a haste com a esfera eletrizada da outra esfera, e observava uma rotação da esfera suspensa a um fio, provocando uma torção neste fio, em razão da força elétrica da interação. Coulomb ao medir o ângulo dessa rotação, era capaz de quantificar/determinar a força de interação.

Figura 8 – Esquema da Balança de Torção de Coulomb para aferir a força elétrica de interação.

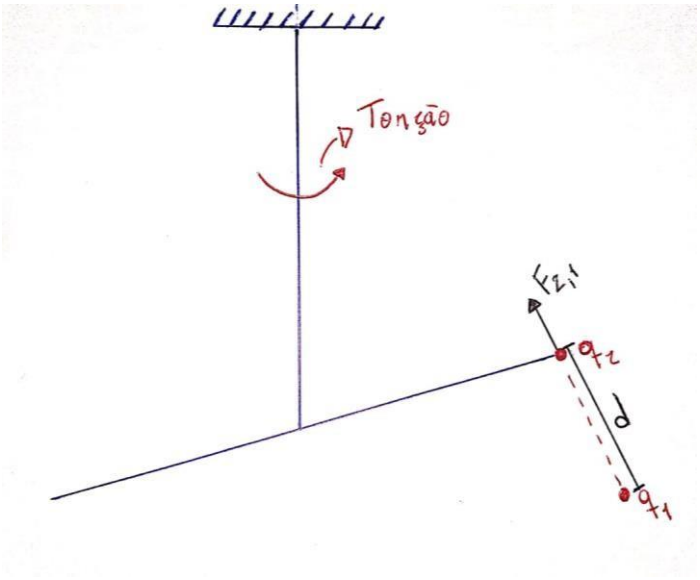


Fonte: Retirada do site Brasil Escola[10]

[10] Disponível em <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/charles-coulomb.htm> Acesso em 13 de Nov de 2020

De forma prática e certamente mais didática, podemos analisar o seguinte esquema:

Figura 9 – Esquema didático para as representações das cargas e Força Elétrica, na balança



Fonte: Autor, 2020

Para entender a conjectura da equação atual da força elétrica que têm-se hoje, podemos analisar o esquema acima entendendo que a carga q_2 é a carga que está presa a uma haste que está suspensa por um fio, e que a carga q_1 é a carga que é aproximada a carga q_2 gerando uma repulsão, e por consequência uma força elétrica de interação $F_{2,1}$ esse índice da força indica a relação de interação entre as cargas, entendendo esse movimento como uma força restauradora, pode-se afirmar que a força atuante é do tipo:

$$F = -kx \tag{2}$$

Tendo k como a constante elástica e x o deslocamento da mola, quando observamos que o fenômeno realiza um movimento de rotação, devido a torção no fio, podemos entender que esta força restauradora trata-se do que já é conhecido, o torque, e este pode ser escrito como:

$$\tau = -\kappa\theta \tag{3}$$

Sabendo que κ é uma constante de proporcionalidade distinta da elástica, já que o movimento é de rotação e θ como de prache, nada mais é que o ângulo de

rotação, podemos ainda escrever o torque de forma genérica e simplificado para este caso como sendo:

$$\tau = F_{2,1} d \tag{4}$$

Compreendendo que $F_{2,1}$ é a força de interação entre as cargas e que d nada mais é que a distância entre as duas cargas no momento da visualização da interação entre ambas. Igualando ambos os torques (eq. 3 e eq. 4):

$$F_{2,1} d = -\kappa\theta \tag{5}$$

Partindo da eq. 5, Coulomb foi capaz de aferir/quantificar a força elétrica de interação entre as cargas, pois em seu experimento era possível medir o valor do ângulo θ, a constante de proporcionalidade κ foi deduzida por ele, e a distância d era fixa, sempre aferida por ele. É quando partindo dos estudos a respeito da equação acima, ele consegue criar uma relação matemática para definição da força elétrica de interação entre as cargas, após séries de medidas, repetições e avaliações de resultados, Coulomb notou que a força é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional a distância entre ambas, analiticamente:

$$\vec{F}_e = \kappa \frac{q_1 q_2}{d^2} \tag{6}$$

Considerando κ como a constante eletrostática determinada no vácuo como $\kappa = 9\,x\,10^{9}\ {}^{Nm^2}/_{C^2}$, q_1 e q_2 os valores das cargas em Coulomb (que veio a ser chamado assim após sua descoberta), e d a distância entre as cargas em metros. Essa expressão nos indica que ao passo em que aumentamos a distância entre as cargas, a força diminuirá, e o inverso é válido.

Esse resultado obtido por Coulomb, evidencia a relação da força elétrica com a gravitacional antes mencionada por Priestley, quando considerando que não há força gravitacional no interior de uma casca esférica, analogamente definiu que para a força elétrica esta condição também seria válida já que Franklin contatou Priestley informando que verificou que no interior de um recipiente metálico não havia fluído elétrico e, portanto, Priestley afirma que

assim como a força gravitacional, a força elétrica seria inversamente proporcional ao quadrado da distância.

4. METODOLOGIA

Até então foi apresentado o contexto histórico desde a antiguidade até a descoberta de Coulomb e a importância da história da ciência no ensino de Física, isso no intuito não só de explanar aquilo que pouco é falado em sala de aula, mas também na intenção deste mesmo parar na sala de aula, o que será visto no próximo capítulo no que diz respeito a metodologia e a sequência didática, será fortemente baseado neste capítulo da pesquisa. Tomaremos isso como base para adiante.

Assim como nos capítulos anteriores, teremos três tópicos para a metodologia, o primeiro abordaremos a sequência didática, quais principios foram utilizados para sua criação, qual será o foco da sequência, e como a aplicamos, para isso criamos uma tabela que indicam as etapas, quantidade de aulas e objetivos a serem alcançados em cada aula. Ainda informaremos o local da aplicação e a razão de sua escolha.

Para o segundo tópico, traremos a explicitação do experimento utilizado na sequência e portanto na sala de aula, como o fabricamos, baseando-se no experimento real, quais materiais foram utilizados, e como o aplicamos em sala de aula, o seu funcionamento e as suas caracterizações necessário para chegamos ao entendimento do que Coulomb foi capaz de entender no século XVIII.

Para o terceiro tópico, evidenciamos o questionário, por quê decidimos trabalhar com questionário, quais perguntas utiizamos e baseados em quê foi possível criar estas questões. Abordaremos neste capítulo uma análise individual para todas as questões, contendo nestas análises quais as razões de suas escolhas, por qual razão elas se fazem importante para a verificação de aprendizagem, e quais os possíveis interesses nas respostas de algumas destas questões.

4.1 A Sequência Didática

Aplicamos nossa pesquisa sobre o ensino da Lei de Coulomb por meio de uma sequência didática na escola EREM Agamenon Magalhães situada na cidade de São Caitano-PE distante da capital Recife-PE por aproximadamente 142km, que por sua vez, é a única escola de tempo integral da cidade. O motivo

da escolha desta escola é que além de nós sermos da mesma cidade – o que facilita o trabalho/aplicação – nós também fomos alunos desta escola durante nosso ensino médio, o que dessa forma facilita nosso acesso pois o corpo docente e dirigente desta escola, é praticamente o mesmo, houveram apenas algumas leves alterações. No entanto, embora haja essa relação nossa com o corpo docente e dirigente, nós iremos imergir na sala de aula como "uma novidade", pois não teremos nenhum outro contato prévio com essa turma, o que se faz por esse motivo necessária a aula introdutória, como será explicitada logo mais no decorrer do texto.

A sequência proposta foi elaborada buscando trabalhar alguns aspectos, em especial i) a contextualização histórica geral e científica no ano em que se passa a descoberta de Coulomb, ii) a utilização da experimentação: uma visão da interpretação de Coulomb, e a reprodução feita por nós em sala, desse experimento, mas, de baixo custo e iii) a avaliação da aprendizagem por meio dos estudos de David Ausubel a respeito da Aprendizagem Significativa. Essa sequência teve como foco os alunos dos 3º ano do ensino médio, fizemos a pesquisa em apenas uma das turmas, pois não tínhamos como interesse comparar resultados com turmas distintas, o nosso principal interesse é averiguar/validar a teoria de ensino da Lei de Coulomb, mas este material didático estará disponível para livre utilização do professor efetivo desta escola, de forma total, parcial ou até mesmo com as alterações que ele achar necessárias.

Tabela 2 – Sequência didática em função de suas aulas e etapas

Etapas da Sequência	Aulas Utilizadas	Objetivos da Etapa
Etapa 1	1	1. Apresentar os pesquisadores, ou seja, nós. 2. Apresentar brevemente o conteúdo que iremos trabalhar. 3. Explicar a razão de estarmos lá. 4. Solicitar a conscientização e disponibilização da turma para com nossa pesquisa.

Etapa 2	2	1. Trabalhar o contexto histórico do ano, década e século da descoberta de Coulomb. 2. Apresentar o que havia sido descoberto até o momento da descoberta de Coulomb, ou seja, os estudos anteriores ao de Coulomb. 3. Mostrar que Ciência não é imediata, e que se há a necessidade de testes. 4. Entender as diferenças entre empirismo e racionalismo. 5. Mostrar os resultados empíricos e racionais da época.
Etapa 3	1	1. Apresetar uma breve Biografia sobre Coulomb. 2. Apresentar o experimento feito por Coulomb através de imagens e explicação. 3. Apresentar um experimento semelhante ao feito por Coulomb, só que de baixo custo e feito por nós. 4. Utilizar como ferramenta o experimento histórico para o ensino da Lei de Coulomb. 5. Argumentar as descobertas de Coulomb, por meio do experimento.
Etapa 4	1	1. Formalizar a Lei de Coulomb. 2. Utilizar o experimento para mostrar na prática algumas aplicações dessa lei. 3. Entender a expressão algébrica e seus significados. 4. Aplicar a equação em problemas "tradicionais"[11] 5. Visualizar a relação força x distância em gráficos
Etapa 5	1	1. Aplicar questionário, que busque compreender se houve ou não uma aprendizagem significativa.

Fonte: Autor, 2020

[11] Entendemos aqui que a palavra tradicional, sugere questões/exercícios que são tratados com maior frequência nas escolas, devido as cobranças externas e internas.

Produzimos esta sequência didática em cinco partes, a primeira parte trata-se do primeiro contato com a turma, portanto nesta parte buscamos imergir na escola, e antes que pudessemos trabalhar de fato o conteúdo se fez necessária a nossa apresentação onde mostramos para a turma o que pretendíamos trabalhar durante esse curto período de seis aulas, cada uma com aproximadamente 50 minutos e de que forma seria trabalhado. Sendo assim a primeira parte (uma aula) trata-se simplesmente do primeio contato com a turma onde buscamos - em curtas palavras – apresentar o projeto, nos apresentar e solicitar a príncipio a colaboração da turma, tendo em vista que essa foi a primeira vez (em tese) que os alunos estavam vendo o conteúdo, por isso são mais que necessários os passos cautelosos.

Na segunda parte (próximas duas aulas) trabalhamos efetivamente o contexto histórico científico ao qual Coulomb estava inserido, o que já havia encaminhado quanto a Eletricidade tanto empiricamente - ou seja experimentos e comprovações anteriores a Lei de Coulomb, desde os primeiros estudos com o âmbar até chegar-se-a Lei de Coulomb - quanto racionalmente - onde existem várias discussões a respeito do que acontece no interior do ambar, que por ventura se tornaria os primeiros estudos da Eletricidade - . Utilizar esses recursos da História e Filosofia da Ciência (HFC), é demasiadamente importante, pois como já frisado anteriormente, é uma área pouco vista em sala de aula, e de tamanha importância para o ensino, por essa razão buscaremos sempre tanto na aula como no experimento trabalhar com a HFC.

Na terceira parte (uma aula) levamos para a sala de aula o experimento histórico, feito por Coulomb, e entedamos que experimento histórico é segundo Paula e Laranjeiras (2005):

> Aqueles experimentos realizados e/ou pensados, experiências de pensamento em um dado conxtexto histórico e que tiveram um papel significativo na elaboração, definição e/ou solução de um dado problema. Sua utilização é apresentada como uma estratégia para a compreensão da ciência, sua natureza, sua história, a partir da perspectiva dos seus praticantes. (LARANJEIRAS, PAULA, 2005, p. 2 apud SILVA, 2013, p.24)

Entendendo do que se trata um experimento histórico, faz-se plausível a utilização da balança de torção, no ensino da lei de Coulomb pois como Silva cita Hötecke:

> Para Hötecke (2000) as ciências naturais exibem um caráter de ciências empíricas, porque os experimentos desempenham um papel importante na produção do conhecimento. Por outro lado, o autor questiona que as abordagens sobre História e Filosofia da Ciência, no ensino de ciências, são em suas maiorias puramente textuais. Nesta perspectiva assinala que : *"Mesmo quando existe um esforço para articular a dimensão histórica, filosófica e social da ciência aos currículos de ciências, a dimensão experimental da ciência como uma prática vivida permanece oculta*" (HÖTECKE, 2000, p. 343 apud SILVA, 2013, p.21)

Este experimento feito para estudar a força elétrica, a balança de torção, possibilita mais que apenas a contribuição para o ensino da Lei de Coulomb, pois também evidencia como se dão as descobertas "antogênicas" no ramo da ciência em geral, e possibilita o entendimento do aluno quanto ao "como se faz ciência". Evidentemente, não será possível fazer uma cópia idêntica ao experimento feito pelo próprio Coulomb, mas um pequeno protótipo semelhante é possível fazer (ide ao tópico 3.1).

Decidimos utilizar esse experimento na sala de aula no intuito de abordar o contexto histórico da Lei de Coulomb de forma empírica e analógica, para que seja possível visualizar na prática o que de fato significa a equação da Lei, como devemos interpreta-la, e quão engenhoso foi Coulomb ao pensar nesse experimento para compravar sua teoria a respeito do comportamento das cargas pontuais. Na quarta parte (uma aula) foi formalizada a lei de Coulomb e suas aplicações, e por meio deste trabalhamos algumas situações de cargas pontuais, nos rementendo sempre a distâncias possíveis de se imaginar - buscando a relação conteúdo-aluno, para que mantivéssemos o foco em aplicar a história da ciência no ensino, sem abdicar da conteúdo formal e prático - no experimento levado,trabalhamos a relação força x distância nos gráficos e trabalhamos a formalização da equação junto às práticas da experimentação, utilizando os casos vistos nas aulas anteriores quando tínhamos apenas o experimento, como subsunçores para o ensino da formalidade da expressão.

E por fim, na última aula propusemos um questionário (ide ao tópico 3.2) para que os alunos respondessem e que neste questionário possamos coletar dados qualitativos a respeito do ensino-aprendizagem da Lei de Coulomb baseado claro no que diz respeito a Aprendizagem Significativa de David Ausubel que segundo Moreira (2010) é:

> Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao

> pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer idéia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. **A este conhecimento, especificamente relevante à nova aprendizagem, o qual pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem** (grifo nosso), David Ausubel (1918-2008) chamava de subsunçor ou idéia-âncora. (MOREIRA, 2010, p.2)

Dessa forma, o próposito desta avaliação final é tentar compreender se o aluno conseguiu associar o conceito, modelo mental e a imagem da balança ao conteúdo propriamente dito da Lei de Coulomb, esse questionário tentará entender se os alunos conseguirão fazer as relações da HFC e o Experimento Histórico, à aplicabilidade da Lei. Além disso tivemos em mão um diário de bordo durantes todas as aulas, este material porém não será para avaliação dos alunos, mas sim para avaliarmos nossas aulas e como elas fluíram, e que dessa maneira consigamos nos autoavaliar e descobrir quais pontos desta metodologia de ensino, ou seja a sequência, podem eventualmente serem repetidos na nossa carreira quando de fato estivermos atuando em sala de aula como docentes efetivos e quais devem ser melhoradas ou até mesmo descartadas, esta autoavaliação e os planos de aula estarão disponiveis em forma de apêndices neste trabalho.

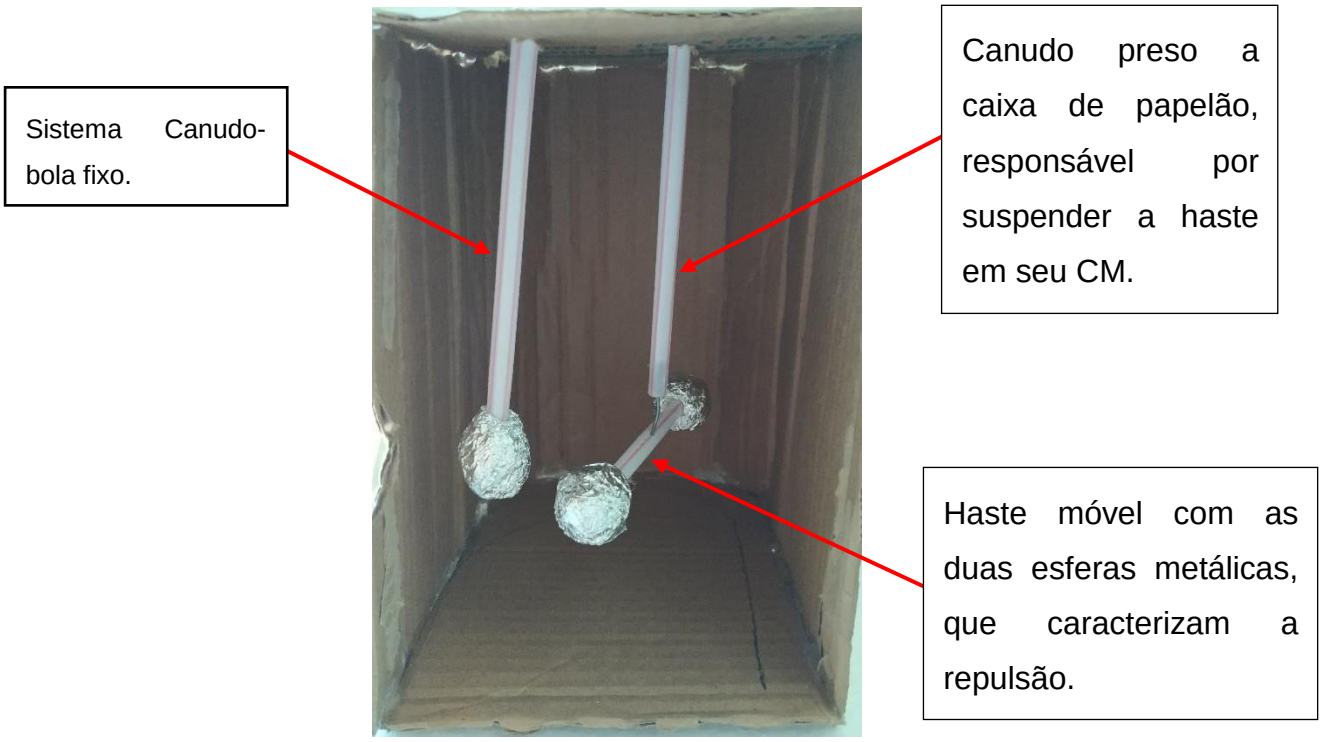
4.2 O experimento (Terceira Parte da Sequência Didática)

Para produzir o experimento utilizamos, de bolas de isopor de 3cm, canudinhos de refresco, caixa de papelão, arames galvanizados (pedaços de aproximadimante 8cm), bastão e pistola de cola quente e papel toalha. As bolas de isopor serão cobertas com papel aluminío - mas também é possível pinta-las com tinta condutora - essas bolas serão furadas e nestes furos encaixaremos um canudo, este estará agarrado a duas bolas em suas extremidades, esse sistema candudo-bolas, será suspenso por meio de outro canudo, canudo este que estará prendendo o sistema canudo-bolas bem em seu centro de massa (CM), para que a haste (canudo atrelado as bolas de isopor) consiga ficar em posição de equílibrio, colamos outra bola a um segundo canudo e esse sistema canudo-bola ficará fixo, obtendo essas duas partes.

Partimos agora para a "caixa'' da balança, em outras palavras, o corpo da balança onde estarão ambos os sitemas indicados anteriormente, este corpo foi basicamente criado a partir de alguns pedaços de papelão, com um pouco de

cola quente e algumas dobras, construimos um cilindro cortado ao meio na sua vertical, furamos no seu teto dois furos, suficientementes grandes para passar o canudo e o mesmo ficar firme sem que precisássemos colar os canudos ao teto, figura 10.

Figura 10 – Experimento de baixo custo semelhante a balança de torção



Fonte: Autor, 2020

O funcionamento desse experimento para que ele possa ser semelhante a balança de torção se resume a basicamente eletrizar a bola de isopor por indução que está fixa, para que quando a bola presa pela haste aproximar-se a bola fixa, sofrer uma repulsão caracterizando uma torção no ‘’fio’’ como mencionamos a respeito do estudo de Coulomb. Para eletrizar essa esfera fixa utilizamos canudo e papel toalha, ao atritarmos o papel toalha com canudo, conseguimos eletrizar o canudo por contato e este quando tocado a esfera fixa transfere seus elétrons e então a esfera passa a estar eletrizada, e quando eletrizada irá repelir a outra esfera vizinha.

É importante evidenciar que esse aparato experimental não é capaz de possibilitar para nós medições, ou seja, não tem a mesma capacidade que o experimento original de Coulomb, capaz de mensurar distâncias e angulações. Desta forma este experimento se resume a uma ilustração do que foi observado

por Coulomb no passado, e se faz importante seu uso em sala de aula, por ser capaz de tornar ‘’palpavél’’ o experimento de Coulomb para os alunos, e ainda ser capaz de ilustrar o funcionamento do mesmo.

Note que é possível reproduzir o experimento histórico com recursos atuais, e com o minimo de criatividade, ou seja, embora as aulas hoje, no ensino médio, sejam totalmente voltadas para os vestibulares, fazendo com que muitos docentes utilizem da "praticidade" na sala de aula, entedemos por patricidade a aula tradicional, aquela que busca apenas a aplicação da descoberta sem nenhuma discussão prévia dessa descoberta, como se deu, quem estava naquele período estudando também esse conteúdo, qual o contexto histórico da época e etc, dessa forma é passivo de ressaltar um trecho do filósofo greco-romano Lucius Mestrius Plutarchius (44-120 da nossa era) da obra Sur l’éducation des enfants:

> “O espírito (a cabeça) não é como uma jarra que se enche. Semelhante às matérias combustíveis, ela tem, antes, necessidade de um alimento que o sacie, que aqueça suas faculdades e anime o espírito para a busca da verdade”. (OEUVRES MORALES, TOME, I, 1844, p.38 apud BRIGHENTE, MESQUIDA; 2016, p. 158)

E ainda é passivo de ressaltar que esse texto nos indica qual o dever do professor como mediador do conhecimento, e com isso podemos ressaltar o tipo de educação que busca a “praticidade” essa educação nada mais é que uma educação bancária, que por Freire essa educação: “é puro treino, é pura transferência de conteúdo, é quase adestramento, é puro exercício de adaptação ao mundo” (FREIRE, 2000, p. 101 apud BRIGHENTE; MESQUIDA; 2016, p. 161). E ainda: “em lugar de ser o texto e sua compreensão, o desafio passa a ser a memorização do mesmo. Se o estudante consegue fazê-lo, terá respondido ao desafio” (FREIRE, 2002a, p. 10 apud BRIGHENTE; MESQUIDA; 2016, p. 161). Percebe-se que mesmo depois de quase duas décadas esse tipo de ensino memorizador, que busca apenas encher os alunos de informações memoráveis, e vê-los como quadros brancos que devem ser preenchidos, são ainda hoje vistos nas salas de aulas.

4.3 O questionário (Última Parte da Sequência Didática)

Como já mencionado anteriormente, o questionário foi aplicado na intenção de verificar indicativos de aprendizagem do conteúdo na classe,

baseando-se em alguns princípios, buscamos ao produzir este questionário focar em determinados pontos, abordamos as opiniões dos alunos a respeito da história da ciência, buscamos compreender quais as visões deles com respeito a essa prática de ensino, como tocamos neste assunto durante toda a pesquisa, no questionário não seria diferente, no que diz respeito ao ensino formal do conteúdo, e portanto colocamos situações em que lhe foram necessário calcular ou pensar a respeito do que diz a lei de coulomb, na prática, além de buscarmos as percepções individuais dos alunos com respeito a utilização da história, também buscamos verificar se eles de fato entenderam o conteúdo abordado da maneira formal, na aplicação e nos cálculos.

Em seguida traremos as perguntas comentadas, foram oito perguntas e algumas estarão no mesmo propósito de aplicabilidade e outras não, por isso falaremos da razão para estes tipos de pergunta estarem no questionário, o que espera-se obter com suas respostas e como elas são importantes para a contribuição e determinação do resultado da sequência didática. Indicaremos as perguntas abaixo com seus respectivos comentários:

1. Depois dos nossos encontros na sala de aula, você considera que entendeu o conceito da Lei de Coulomb?

- Essa pergunta é direta e objetiva, por duas razões, a primeira para que possamos entender justamente o que se pede na questão, se o aluno de fato entendeu o conteúdo e a segunda para que possamos com a questão seguinte verificar a validade da resposta dessa questão, pois como a segunda questão tratará do entendimento do conteúdo, caso o aluno informe que entendeu o conceito e não consiga resolver a questão dois, por alguma razão este aluno estará tentando mascarar seu conhecimento.

2. Se lhe fosse perguntado o que é a Lei de Coulomb, de que forma você explicaria? Transcreva logo abaixo.

- Essa pergunta, além de ajudar na verificação da primeira questão, ajuda a entender como o aluno entendeu a questão, qual raciocínio ele usaria para explicar esta lei a uma pessoa, quais meios o aluno utilizará para a explanação do conteúdo. Essa pergunta é interessante nos trará um entendimento do aluno a respeito do conteúdo, e ao analisar esta resposta poderemos nos basear como

o aluno entendeu o conteúdo e quais pontos podem ser melhorados e ou descartados.

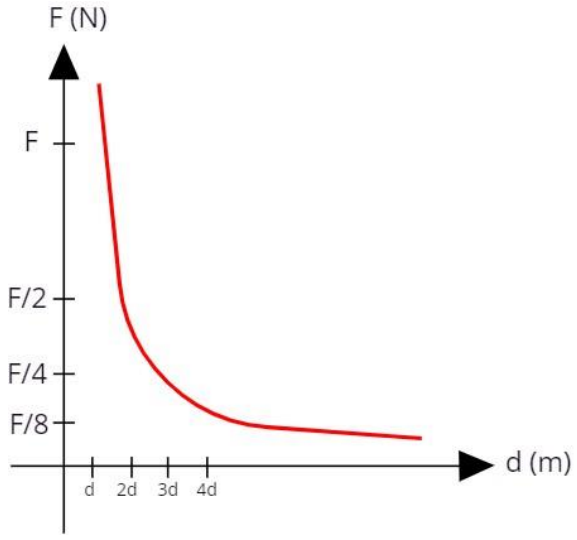
3. Apresente a expressão para calcular a força elétrica, e dê significados para ela. (Em resumo, explique o que significa cada letra da expressão).

- O intuito desta questão é a verificação básica que todos alunos precisam saber, para quando forem utilizar a expressão, não confundirem os valores para as substituições, como é comum de acontecer, alunos por não saberem do que se trata as letras da expressão acabam confundindo os valore de carga, distância e força, ou até mesmo não entendendo quais são suas unidades no S.I.

As duas próximas questões são mais voltadas a aplicação, uma conceitual e outra prática, informaremos as duas em seguida e comentaremos logo após.

4. Analisando o gráfico a seguir é possível perceber que quanto maior for a distância entre as cargas, menor será a força aplicada entre as partículas, qual a razão para este acontecimento?

Gráfico 1 – Força elétrica em função da distância entre as partículas ou cargas



Fonte: Autor, 2020

5. Em certa situação um experimentador utilizando o experimento da balança de torção, aproxima uma esfera de metal eletrizada (à grosso modo, uma carga) da outra carga carregada assim como a primeira positivamente, obtendo uma distância entre elas de 3 cm, sabendo que as

cargas têm valores aproximados de 6μC e 8μC respectivamente, qual será a força de repulsão entre estas cargas?

- Estas perguntas entraram no questionário, devido a uma necessidade do sistema e como nós estávamos substituindo as aulas de um professor, não podíamos deixar a turma sem esse tipo de contribuição, já que a mesma seria cobrada tanto em suas avaliações interna como externas, e ainda assim essas questões dialogam com o que estamos comentando e indicando desde o início da pesquisa, a ideia de que a HC pode ser utilizada sem que haja percas no ensino prático do conteúdo.

6. Embora a Lei de Coulomb, trate sobre cargas, e cargas por sua vez podem ter suas massas "desprezíveis", e desta forma torna-se impossível de se ver a olho nu, é possível citar alguns exemplos do dia a dia que existe a ação da Lei de Coulomb, cite alguns. (Obs: É passível de se entender que a maioria dos exemplos estão fundidos ao mundo microscópico)

- Essa pergunta é baseada em vivências com os alunos, pois a grande parte deles sempre indagam a respeito da utilização do conteúdo da sala de aula em seu cotidiano, partindo destas perguntas frequentes, decidimos pergunta-los a respeito da mesma situação. O principal motivo desta pergunta parte da ideia de fazer os alunos terem o entendimento de mundo, e que embora seja um conteúdo simples e rápido, ele terá lá suas contribuições para o que temos hoje de conteúdo, esta percepção de mundo se fará presente, pois é importante que os alunos compreendam que os conteúdos não são passados apenas para que eles tenham o que fazer em suas avaliações, na tentativa falha de preencher lacunas, mas para que eles compreendam que a ciência é um dos principais apoios para o avanço da sociedade.

7. Em certo momento um experimentador utilizando a balança de torção eletrizou uma das cargas (que por sua vez era de mesmo sinal da outra carga, porém mais carregada) e aproximou da outra carga.

a) O que se pode dizer a respeito da torção da outra carga?
b) E se fosse o inverso, ao invés de mesmo sinal a carga que fosse aproximada estivesse de sinal oposto a segunda carga?

- Esta pergunta é interessante pois a alternativa (a) foi vista em sala de aula, quando utilizamos o experimento fazemos a consideração de cargas (esferas de isopor) de mesmo sinais então ao eletrizarmos a fixa, a esfera presa a uma haste se caracteriza por uma torção, como mencionado na alternativa. O foco real dessa questão está na aplicação de situações fora do cotidiano dos alunos e dessa forma como eles entenderiam a priori o que aconteceria, por isso fazemos com que eles imaginem a situação oposta e comentem como se caracterizaria a experimentação. Um outro ponto para esta questão é a verificação da possibilidade de haver o link do experimento com a teoria, o que caracterizaria como mencionamos na metodologia deste trabalho, uma aprendizagem significativa, em qual o subsunçor seria o experimento e com ele fosse possível fazer o alunado imaginar situações e fazer as devidas explicações.

8. Você considera o ensino da história da ciência atrativa? Justifique sua resposta.

- Já nesta última questão, buscamos a opinião dos alunos, pois quando se trata do processo ensino-aprendizagem, é necessário entender se os alunos gostaram da sua metodologia, a consideram importante e entendem que as aulas ficam menos pragmáticas, para que o docente possa dar continuidade ou não à sua metodologia. Uma questão de percepção dos alunos quanto a determinada prática, que fará de grande proveito os resultados obtidos.

5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo teremos dois tópicos que irão abordar os resultados obtidos com a aplicação da nossa metodologia. No primeiro tópico traremos as percepções obtidas das aulas pelo diário de bordo, neste abordaremos quais sensações foram observadas pela classe, quais situações foram bem aceitas e quais não, o que foi possível de abstrair das seis aulas, e quais os problemas encontrados em cada aula, se houveram e como foram tratados diante da turma.

No segundo tópico, evidenciaremos as respostas do questionário categorizadas e ilustradas em gráficos, faremos a avaliação visual dos resultados e traremos pontos que foram julgados interessantes para serem mecionados no texto. Faremos menções de algumas respostas e argumentaremos a respeito das possíveis causas dessas respostas, sendo elas cosideradas positivas ou negativas, iremos tratar-las no texto discurssivamente, tentando dialogar com os resultados esperados segundo nossa metodologia e motivação.

5.1 Diário de Bordo: Observações

Como mencionamos anteriormente, estivemos durante toda aplicação da sequência didática com um diário de bordo em mãos, este que desde o príncipio tinha como funcionalidade registrar reações, situações e fluidez dos pesquisadores e alunos na sala de aula. Na intenção de uma autoavaliação, entender se houveram acertos, erros e quais considerações deveriam ser retomadas posteriormente.

Esse diário se fez importante, porque com ele foi possível compreender se o caminho adotado, erade fato o melhor caminho se a turma foi contagiada pelo conteúdo, tudo isso baseado excepcionalmente na visão do autor e pesquisador. Antes da explanações de dados, vale a ressalva que quando criamos este projeto, imaginávamos um tempo de dez aulas, acabou que quando questionado a disponibilidade do professor e da turma, foi nos fornecido seis aulas, tivemos um perca no tempo considerado ideal por nós, mas fizemos breves alterações e conseguimos encaixar esta sequência didática no tempo fornecido pelo professor.

No primeiro encontro com a turma, foram duas aulas, algo em torno de uma hora e quarenta minutos, considerando as aulas de ciquenta minutos cada, o que na prática não são exatos esses minutos de aula, pois há uma perca de minutos para o ínicio das aulas e alguns outros minutos para o término, porém levaremos em consideração o tempo integral sem perdas.

A primeira aula como planejado era uma aula de apresentação do pesquisador, conteúdo, razão e circunstâncias para estar em sala de aula, possívelmente terminamos esta apresentação antes que a primeira aula acabasse, e o primeiro ponto que percebemos foi a aceitação da metodologia explicitada, pela turma, exergava-se um entusiasmo. E este entusiasmo veio a ser comprovado quando começamos a explanação histórica prevista para duas aulas e portanto terminaríamos só no próximo encontro. A respeito dessa segunda aula do primeiro encontro, esperávamos ir mais longe do que conseguimos ir com a respeito ao conteúdo histórico, mas esse ponto acaba não sendo um ponto negativo, pois isso ocorreu devido as inúmeras duvidas dos alunos quanto ao especto histórico, e quanto mais se falava nos avanços históricos, mais era notório os rostos boquiabertos dando aquela sensação de descobertas.

Essa sensação de descoberta perpassou para o segundo encontro, pois como ainda havia conteúdo histórico para o segundo encontro, e este foi apenas de uma aula, só conseguimos concluir a parte histórica e apresentar a lei de Coulomb de forma analítica, da forma que apresentamos nessa pesquisa, fazendo aquelas análises com os fios e forças (ide ao 3.2), e embora a demonstração fosse simples, vê como os alunos se comportaram ao entender talvez um pouco de como Coulomb pensou há anos, foi bem interessante, pois eles mantiveram as caras de surpresos durante estes dois encontros. Talvez uma surpresa de ‘’não está entendendo’’, ou de ‘’que interessante’’, mas fato é que a demonstração despertou interesse, talvez por eles nunca terem visto isso, e estarem acostumados a fórmulas prontas, ou por acharem que as conclusões cientifícas e os avanços cientifícos eram provenientes de grandes ‘’gênios’’, quando na verdade se resume a trabalho e repetição. Esperávamos ainda nesta aula aplicar alguns exemplos, mas devido ao tempo teve que ficar para o próximo encontro.

No terceiro encontro também de uma aula, tínhamos como interesse fazer os exemplos práticos que não foram possíveis serem feito no encontro anterior, para que não fugíssemos da forma padrão de aula e conseguíssemos mesmo usando uma metodologia alternativa saciar uma necessidade do sistema de ensino do país. Aplicamos os exemplos, e este encontro foi o que definido na nossa sequência, o dia da aplicação do experimento idealizado por nós, abordamos e permitimos que os alunos tocassem, utilizassem e etc.. Utilizamos esta aplicação no intuito dos alunos adquirirem um modelo mental da balança mais simples e de certa forma mais real[12], foi um sucesso no nosso ponto de vista, o alunos interagiram muito, e percebíamos que os alunos estavam se indentificando com o conteúdo. Aplicamos exemplos, respondemos juntos e os alunos demonstraram grande desenvoltura. E como de costume para o ensino de física formal, disponibilizamos uma breve lista de exercício para os alunos.

Para o quarto encontro de também uma aula de duraçao, a aula já estava desenhada pela ‘’deixa’’ do último encontro, do exercício para casa, e então resolvemos o exercício de casa em sala de aula, saciamos as dúvidas apresentadas pelos alunos, e passamos um novo exercício, este disponibilizado pelo professor da turma, para que fosse cumprido os objetivos práticos dele, e que a partir deste ele fosse capaz de pontuar como atividade em sua caderneta.

No último encontro, de uma aula, aplicamos a última etapa da sequência, o questionário. Além de aplicamos o questionário, tínhamos uma ‘’dívida’’ com a turma com respeito a atividade passada no encontro anterior, resolvemos a lista de exercício em sala de aula, notamos uma grande desenvoltura nos resultados práticos, e a grande maioria dos alunos tentaram resolver, e grande parte consegui resultados positivos.

Ao longo dos nosso encontros, indentificamos grande interesse dos alunos na metodologia adotada, e isso sem dúvida é um ponto positivo. Mas, por outro lado, este interesse pode ter surgido do fator ‘’novidade’’, de ter um novo professor disposto a passar uma metodologia alternativa e talvez o atual professor deles, não se sentisse interessado em aplicar estas metodologias

[12] A palavra “real” nesse sentido está indicando que o experimento é mais palpável, não é como de costume uma figura e que devemos imaginar seu funcionamento.

alternativas, por isso existe a possibilidade do fator ‘’novidade’’ ter ajudado nesse quesito do interesse dos alunos.

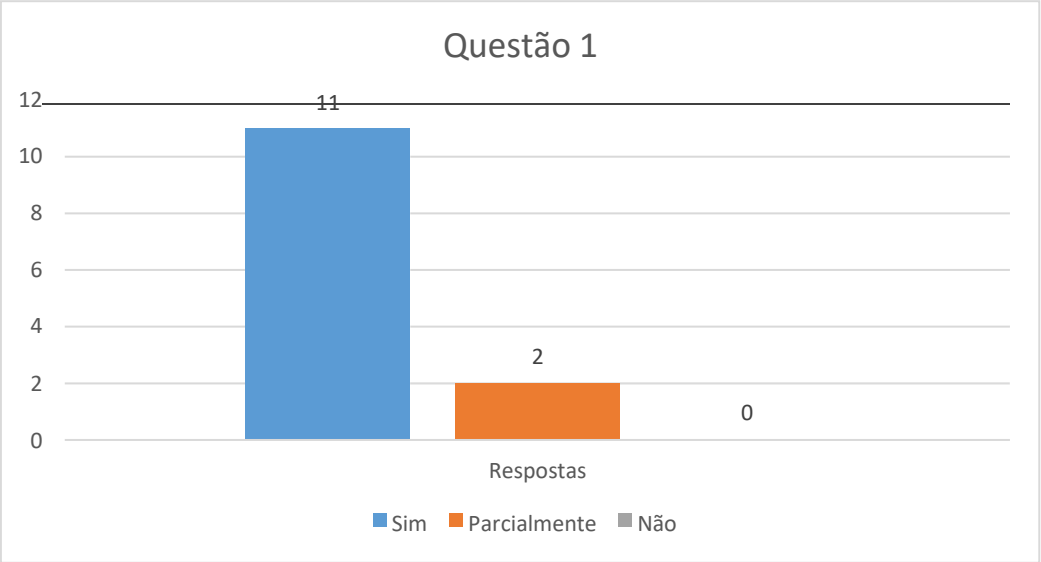
5.2 O questionário: Avaliação das respostas

Antes que possamos apresentar os resultados obtidos no questionário, é importante fazer algumas ressalvas, a primeria delas é a frequência dos alunos nessa turma, estava em torno de 24 alunos, um número bem abaixo do total de alunos matriculados que estão na casa dos poucos mais de 40, e não sabemos qual a a razão para essa baixa frequência, mas em conversas com os professores da escola, suas experiências de anos de sala de aula, afirmam que essa baixa frequência é comum no ínicio do ano, e como a Lei de Coulomb, pertence no cronograma da escola à primeria unidade, isso faz total sentido. E a outra ressalva diz respeito a quantidade de questionários respondidos, um total de 14, quase 60% da turma fizeram, mas o demais não compareceram na aula porque estavam organizando alguma espécia de evento na esolca, a qual não obtivemos grandes informações.

A última ressalva é que destes 14 alunos que responderam o questionário, um deles copiou todas as respostas de um outro colega e então desconsideramos um dos questionários, e por essa razão serão apresentados nos resultados apenas 13 questionários. Cabe uma discussão a respeito dessa cópia, mas isso renderia mais uma nova pesquisa, para buscarmos entender o que se passou na sala de aula para que isso acontecesse. Ainda assim, imaginamos que o aluno por não se sentir seguro em responder com seus próprios conhecimentos achou mais conveniente copiar, e isso resulta numa discussão psicológia com respeito a insegurança dos alunos em serem sinceros, a qual não iremos entrar, trouxemos apenas a informação para que pudessemos seguir fiéis a ética da pesquisa científica.

Quanto a primeria questão, obtivemos o seguinte resultado:

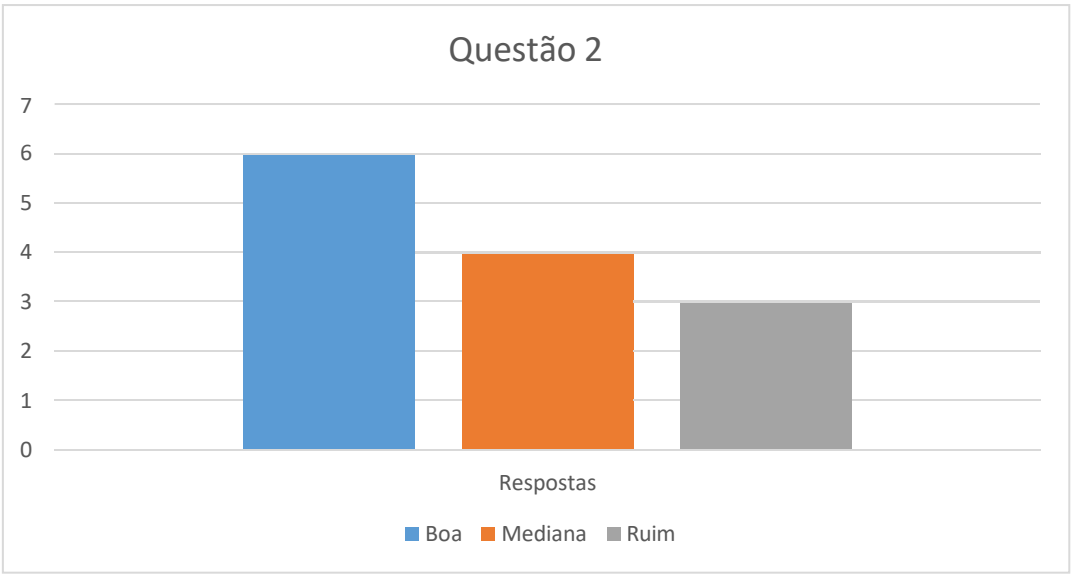
Gráfico 2 – Respostas da primeira questão



Fonte: Autor, 2020

A categorização dessa pergunta como todas as outras foram feitas a *posteriori,* para que pudéssemos melhor encaixar os resultados com a categorização. Nota-se que a grande maioria entendeu a Lei de Coulomb, e apenas dois entenderam parcialmente e ninguém não entendeu o aluno, porém quando trazemos os resultados da segunda questão, tem-se que apenas 6 conseguiram efitvamente explicar a lei de Coulomb.

Gráfico 3 – Respostas da segunda questão



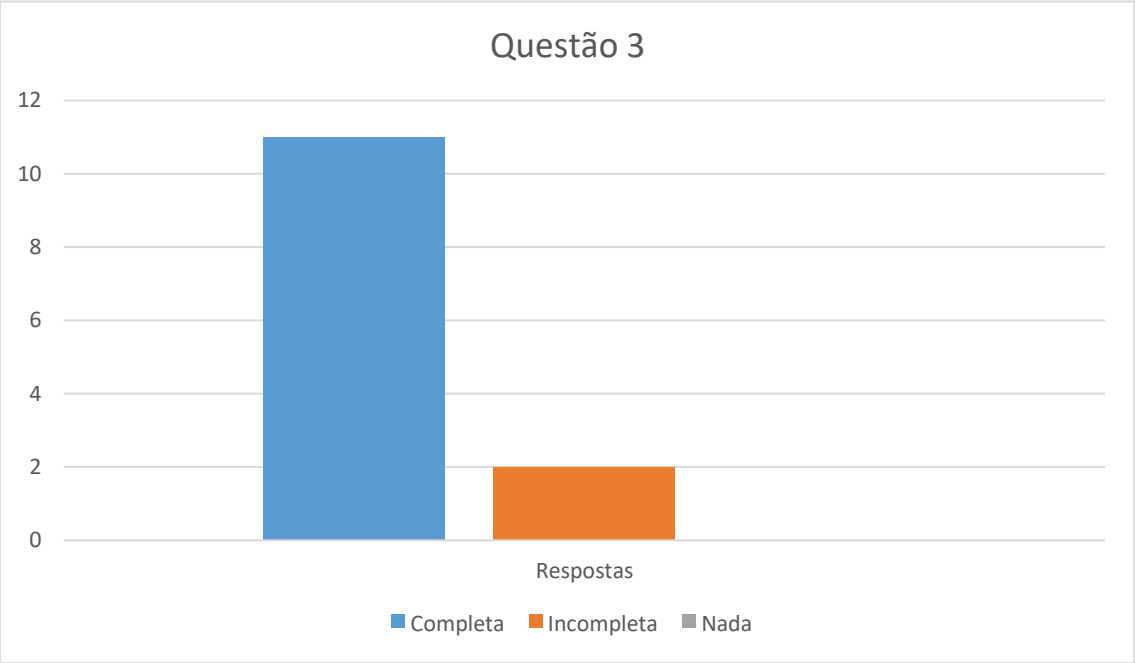
Fonte: Autor, 2020

Na comparação destas duas perguntas, os resultados obtidos em ambos se diferem, pois embora todos os alunos tenham dito que entenderam completamente ou parcialmente, e nenhum destes tenha dito que não entendeu. A explicações a respeito da lei de coulomb, nos retornaram ainda em sua maioria resultados positivos, mas o alarme fica naqueles que não conseguiram explicar a lei, mesmo informando que havia a entendido na questão anterior. Para a resposta ser considerada *boa* foi levando em consideração que o aluno conseguisse explicar o que ela estudava, que nada mais seria o estudo da interação eletrostática entre partículas eletrizadas.

Nas respostas "*ruins",* vale trazermos uma das consideradas ruins: *"a distância é inversamente proporcional a força",* esta resposta foi considerada ruim porque ela não explica o que estuda a lei de Coulomb, e sim como se caracteriza a lei de Coulomb, a frase não está errada, porém não está enquadrada na pergunta realizada. Já uma das questões que foi caracterizada como *Mediana,* parte mais do preceito da utilização das palavras, como *"É a lei que* ***determina*** *a interação eletrostática",* esta foi considerada mediana porque entendemos que o aluno tentou dizer que era alei que estudava a interação eletrostática e que por sua vez determinava/quantificava esta interação, mas a palavra em negrito é o que nos apegamos na hora da classificação, pois a lei de Coulomb não determinou a interação eletrostática, esta sempre existiu, na verdade Coulomb definiu uma maneira de quantificar essa interação, com a força elétrica.

Na terceira questão, esta elaborada no intuito de firmar o resultado analítico de Coulomb, também obtivemos resultados positivos, estas respostas foram categorizadas dessa forma, devido ao fato de ser uma pergunta mais direta, e então a resposta ou estaria completa ou incompleta, ou então nenhuma das duas, obtivemos:

Gráfico 4 – Respostas da terceira questão



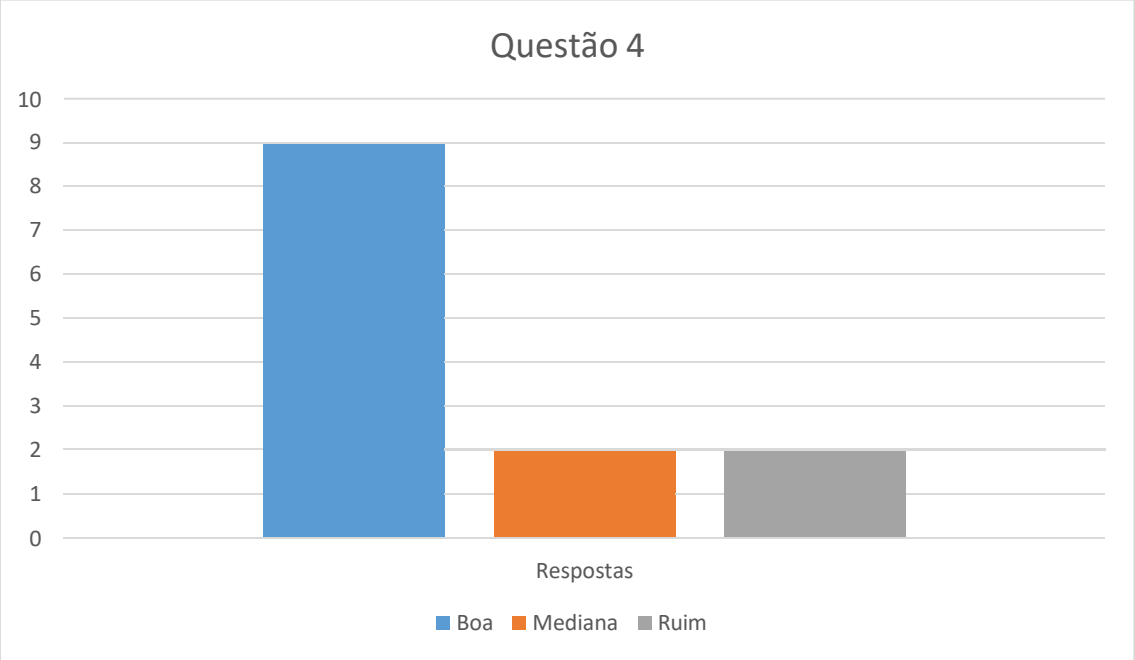
Fonte: Autor, 2020

Duas das respostas foram consideradas como incompletas, pelo motivo de estarem faltando uma das partes, um dos alunos colocou apenas a equação, enquanto outro colocou apenas a explicação para as constantes e variáveis apresentadas na equação.

Na quarta questão, também foi obtido resultado positivo, a grande maioria respondeu o que consideramos uma boa resposta, enquanto os demais dividiram-se entre respostas medianas e ruins. A boa reposta se caracterizava na configuração evidenciada por um dos alunos na segunda questão: *"a distância é inversamente proporcional a força",* inclusive este mesmo aluno indicou que a reposta da quarta questão estava na segunda. Já com respeito a resposta *ruim,* uma das repostas consideradas com *ruim*, diz que *"a força da densidade "F" é maior que do que a densidade da força d"*, infelizmente não conseguimos identificar de onde este aluno trouxe a utilização da densidade, porém os pontos mais negativos nessa resposta estão i) na interpretação de texto, visto que na pergunta informamos que o gráfico da força elétrica está em função da distância "d", e ainda assim o aluno entende este valor de "d" como uma força, ii) e na leitura do gráfico, pois embora este aluno não tenha entendido quais unidades estavam sendo trabalhadas, ele também não conseguiu perceber que tratava-se de um dependência nos valores, e por essa razão ele

diz que “d” é menor que “F”, ele não conseguiu compreender a linha como uma relação, mas sim como análises separadas.

Gráfico 5 – Repostas da quarta questão

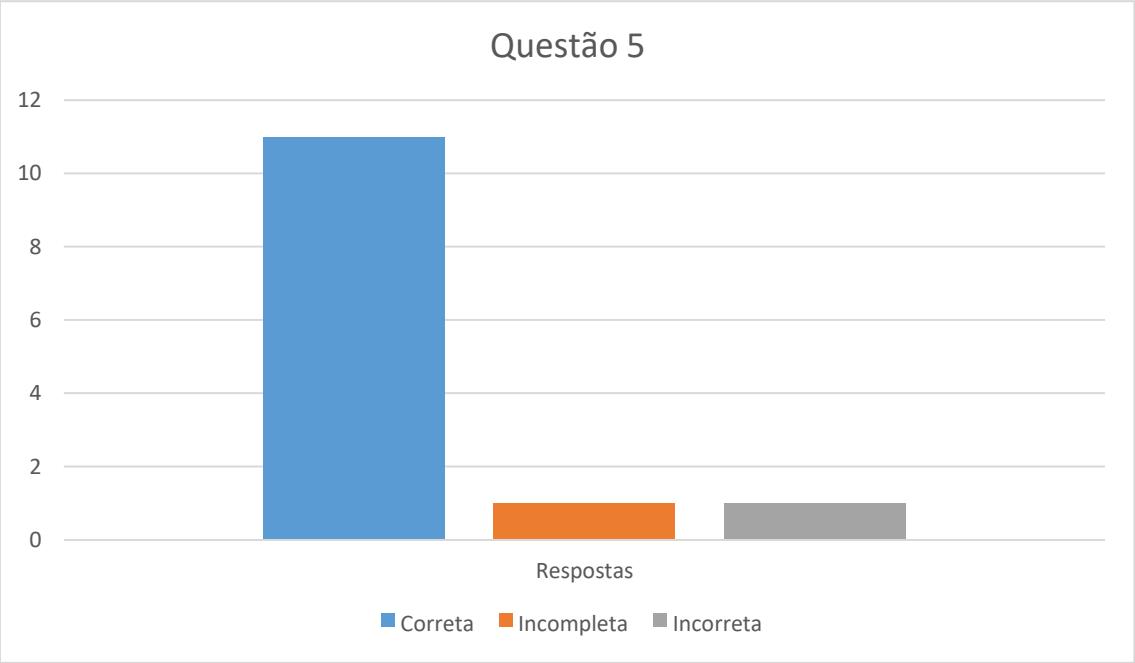


Fonte: Autor, 2020

As respostas consideradas medianas, foram aquelas que praticamente interpretaram a pergunta e disseram *“Quanto maior é a distância, menor é a força”,* só que isso é exatamente o que informamos na questão e por essa razão foram classificadas como medianas.

A quinta questão que é uma questão prática, obtivemos o melhor resultado positivo, apenas dois não acertaram, um não completou a questão parou no meio da aplicação e por isso foi classificado como *incompleta* e outro aluno não se deteve as conversões necessárias para o êxito da questão, e por isso encontrou um resultado distante do exato, vale a ressalva que destes considerados *corretos,* três esqueceram ou não quiseram colocar a unidade de medida no resultado final (Newtons), isso não significa que erraram a questão por completo, cometeram apenas uma gafe comum da falta de prática de cálculos, em não utilizarem as unidades do S.I.

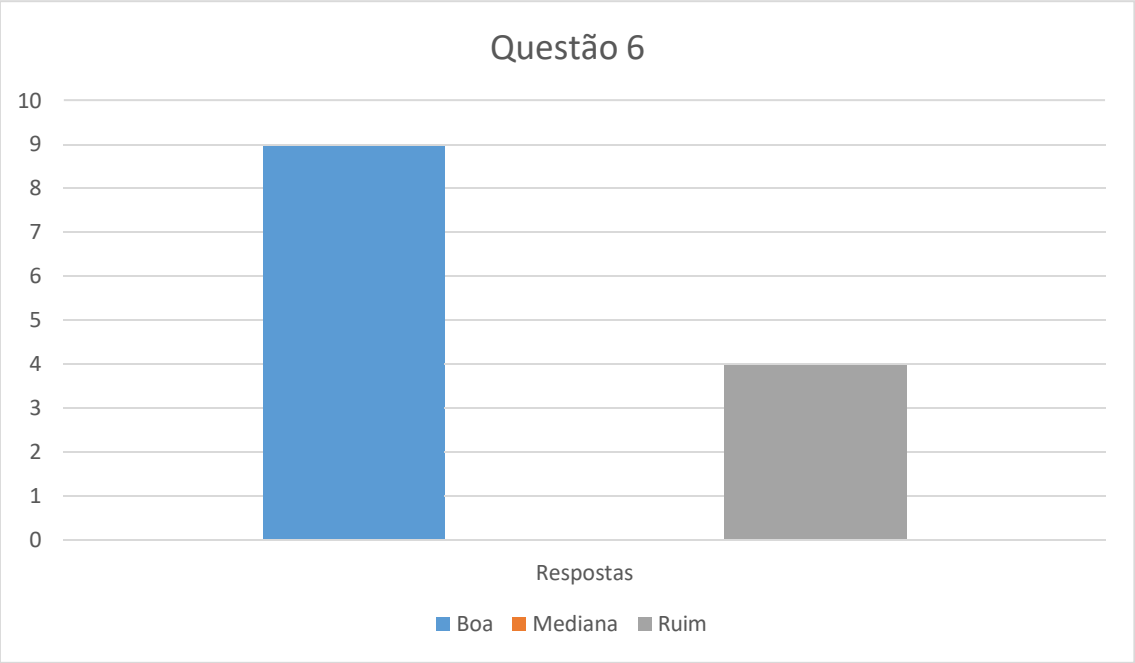
Gráfico 6 – Respostas para a quinta questão



Fonte: Autor, 2020

Quanto a sexta questão, classificada nas categorias *boa, mediana e ruim,* apresentou também resultados positivos, a grande maioria conseguiu relacionar muito bem a Lei de Coulomb com o cotidiano, entendendo-a como o estudo da interação eletrostática, trouxeram relações como: *‘’eletrização da caneta no cabelo e entrando em contato com pequenos pedaços de papel’’, ‘’movimentação do elétrons’’, ‘’eletrização em geral’’, ‘’interação da mão com uma folha de caderno’’, ‘’as TV’s de tubos que atraíam os pelos quando próximos da sua tela’’.* Já por outro lado houveram as respostas genéricas que a consideramos como *ruins,* isso porque elas traziam a simples resposta ‘*’eletricidade’’,* e essa resposta genérica não entram na relações com o cotidiano que pretendíamos obter.

Gráfico 7 – Respostas para a sexta questão

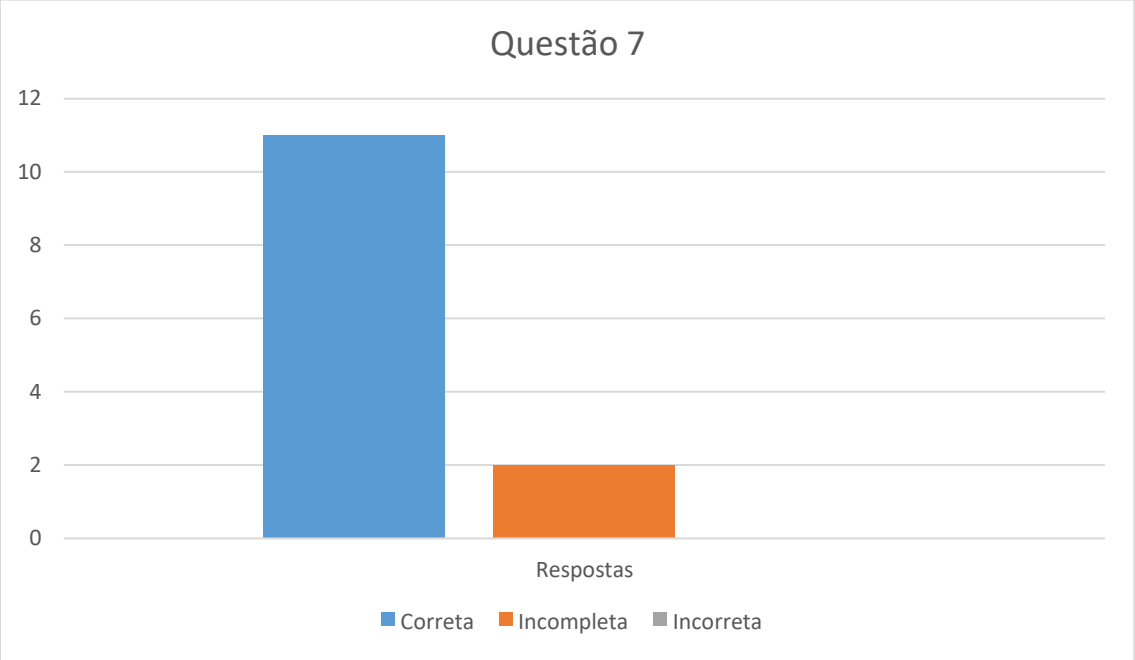


Fonte: Autor, 2020

Na sétima questão, tínhamos como interesse verificar se houveram indicações de uma apossível aprendizgem significava baseada no modelo imagético e prático que havíamos aplicado em sala de aula, o experimento da balança de torção. E portanto, os resultados foram positivos e quando os alunos foram remetidos a duas situações do experimento, eles conseguiram resolver as perguntas com a exceção de dois alunos que foram classificadas suas repostas como incompletas, pois um dos não respodeu enquanto o outro apenas respondeu a alternativa b. Os resultados desta pergunta se tornaram indicadores de que houve uma aprendizagem significativa, pois o aluno quando perguntando conseguiu fazer a relação de repulsão e atração, o detalhe especial é que para a alternativa ‘’a’’, quando as cargas se repelem, esta condição foi analisada no experimento em sala de aula consequetemente os alunos apenas lembram do acontecido e responderam, e então quando retomamos o modelo do experimento para a alternativa ‘’b’’, só que com uma outra condição, a de atração e nesta alternativa apenas o aluno que não respondeu ficou com saldo negativo, os demais até mesmo o que respondeu apenas a letra ‘’b’’, indentificou que nessa situação hipotética as cargas se atraíriam. E por essa razão, conseguimos identificar que houve traços de aprendizagem significativas, quando

relacionados a uma imagem ou modelo, como mencionamos na metodologia desta pesquisa.

Gráfico 8 – Respostas para a sétima questão

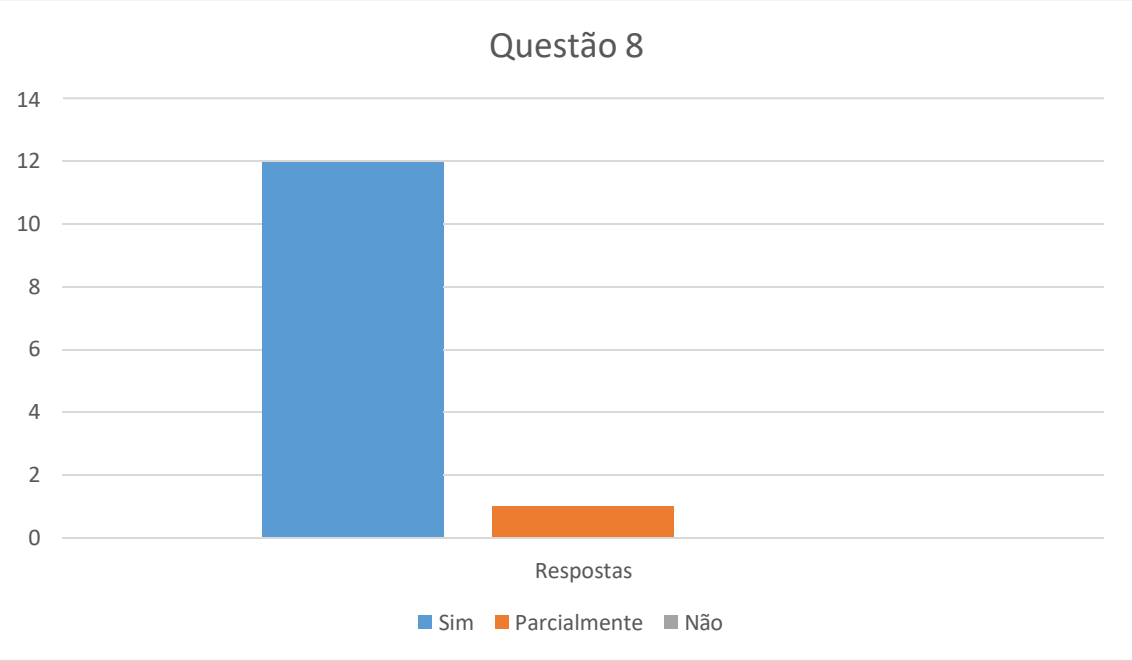


Fonte: Autor, 2020

Quanto a oitava questão, por ser uma questão opinativa, decidimos trazer no gráfico apenas as repostas diretas, quanto a atratividade do ensino de ciências, e traremos discussões a respeito dos padrões das justificativas da resposta. Apenas um dos alunos considerou que o ensino de ciências é parcialmente atrativo, justificando em suas palavras *"parcialmente, porque é muito calculo e muitas fórmulas".* Sua consideração é um tanto quanto motivacional, ou condicionada a um ensino de Física resumido a aplicação de fórmulas e utilização de cálculos, embora entendamos sua injúria com o ensino de Física, compreendemos que em específico para a sequência didática que utilizamos, onde foram vistas apenas quatro ou menos equações isso porque decidimos fazer aquela breve demonstração, caso contrário só utilizaríamos uma equação, esta observação do aluno é um tanto quanto pretenciosa e fora do contexto do conteúdo que oferecemos em sala de aula, talvez ele tenha entendido a resposta de maneira incorreta e tenha feito uma crítica para o sistema de ensino de Física em geral, ou algo nesta linha.

Além desta contribuição também houve uma contribuição que dizia que “embora considerasse o ensino atrativo, não era bem área dele”, e neste caso poderíamos ter o oposto ao aluno mencionado anteriormente, enquanto o primeiro critica as fórmulas, este indica que sua área seja mais voltada para os cálculos.

Gráfico 9 – Respostas da oitava questão



Fonte: Autor, 2020

Agora que já mencionadas as considerações dos alunos que “repudiaram” a ideia da HC na sala de aula. Traremos os padrões observados nas respostas positivas, conseguimos identificar seis padrões nas respostas, iniciamos com *“descobertas de coisas inimagináveis referentes a história”,* este padrão nos indica que os alunos começaram a entender que existem conteúdos históricos que infelizmente não são abordados na sala de aula e ou nos livros didáticos, que são importantes para o entendimento do conteúdo em si, e este padrão dialoga com um segundo observado a *“ampliação do conhecimento com respeito a eletricidade”*, os alunos compreenderam que a utilização de HC pode ser atrativa pois amplia o conhecimento a respeito do conteúdo abordado, que para este caso trata-se da eletricidade. Os dois padrões já mencionados anteriormente ainda se relacionam com outro que é a *“apreensão de coisas que passariam despercebidas”.*

Ainda teríamos mais dois padrões que estão sempre dialogando entre si e que também foram identificados pelos alunos, o *“aprofundamento do conceito Ciências”* e a *“importância da evolução da Ciência”*, esse entendimento que os alunos obtiveram é exatamente o que argumentamos no segundo capítulo desta pesquisa (ide ao tópico 2.3), quanto a importância da HC na sala de aula para a percepção de mundo do discente, estas repostas evidenciam justamente essa problematização, compreendemos aqui que com esses padrões identifica-se que os alunos passaram a entender como a ciência se comporta e de que forma ela funciona, como ela evoluiu e evolui, e como se fez e ainda faz ciência, e ainda a desmistificação do “gênios”.

E por fim o sexto padrão identificado, se fez muito importante para os pesquisadores que é *“este ensino gera uma percepção de que a ciência está sempre presente no cotidiano”,* isso porque não imaginávamos que alunos do terceiro ano de ensino médio, ainda tinha uma percepção de que a ciência estivesse fora da conjectura dos avanços tecnológicos e por sua vez presente em nosso cotidiano. Este padrão nos mostra o quão importante a utilização da HC na sala de aula pode ser, e aí mais uma vez dialogamos com o capítulo dois, em que mostramos que a utilização da HC não servirá apenas para aplicação do conteúdo, mas também para evidenciar a ciência no cotidiano, mostrar que ela é importante para os avanços da sociedade, e por isso torna-se importante também para a compreensão sócio-histórica do discente.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Após os resultados obtidos das três pesquisas que foram feitas neste trabalho, duas breves pesquisas e uma um pouco mais robusta, obtivemos resultados interessantes, dentre as duas breves pesquisas nas diretrizes curriculares e nos livros didáticos, percebemos que ambos não dialogavam, e que muito embora as diretrizes curriculares considerem importante a utilização da HC na sala de aula, os livros não apresentam estas condições de ensino. E que por sua vez nos fez buscar uma metodologia alternativa para o ensino de Física, em especial da Lei de Coulomb, que fosse capaz de fazer esta ponte do que é visto como padrão e por sua vez consideramos na pesquisa como um ensino formal e prático, com um conteúdo alternativo que fosse capaz de argumentar com a HC. Criamos a sequência didática baseada nestes princípios, e a aplicamos na sala de aula, findando com um questionário que nos pudesse quantificar os resultados.

Os resultados obtidos foram positivos como apresentados no capítulo anterior e, portanto, baseado nesta prática pudemos afirmar que é possível aplicar uma metodologia de ensino que preze a HC e ao mesmo tempo dialogue com o ensino prático e formal do conteúdo, e ainda foi possível identificar traços de uma aprendizagem significativa, como tínhamos interesse. Acontece que por algumas barreiras, como tempo, formação, interesse dos alunos e etc., os professores acabam não trabalhando a HC na sala de aula por talvez medo de não dar conta da programação da escola. E percebemos com esta pesquisa que essa barreira pode ser quebrada, pois encaixamos nossa sequência no permitido pela programação do professor, sem que invadíssemos o tempo esperado para o conteúdo posterior, e sem que atrapalhássemos a programação do professor e da escola para o decorrer do ano letivo.

Outro ponto interessante desta pesquisa foi que muito além dos resultados obtidos no questionário, pudemos observar que os resultados foram além dos números quando o diário de bordo foi analisado, pudemos observar que os alunos estavam de fato interessados na aula, e em busca de descobertas que consequentemente geravam curiosidades nos alunos e, portanto, inúmeras dúvidas. E isso no ponto de vista do professor é excelente, pois é na discussão de conteúdo que se há uma melhor extração de conhecimento.

Embora a pesquisa tenha devolvido bons resultados, houveram alguns contras, como por exemplo o aluno(a) que afirmou que a história da ciência não é sua área, ou como o outro(a) que afirmou não gostar por conta da grande quantidade de equações e cálculos, quanto a estas observações interpreta-se que ensinar Física apoiado simplesmente numa metodologia alternativa não é suficiente, é preciso saber dosar as aplicações e tentar manter um equilíbrio, pois quando adota-se uma metodologia alternativa, é possível que em dado momento o aluno fique desconfortável e não sinta-se mais instigado para a aprendizagem, devido a uma possível rotina criada pela professor involuntariamente. Além dessas duas situações, pode-se observar que é necessário um melhor proveito de tempo de aula, nas trocas de disciplinas e horários, acaba-se perdendo alguns minutos e as vezes estes são minutos valiosos, que serviriam para a conclusão de uma ideia, apresentação de um conceito e etc.

Espera-se a partir desta pesquisa, abranger seu alcance e fazer mais testes, no intuito de buscar uma consistência na metodologia de ensino abordada, aplicar em mais turmas, ou até mesmo em mais escolas, consequentemente obtendo resultados numéricos mais expressivos, na prática seria buscar por uma amostragem maior de resultados, e dessa forma seria possível obter padrões mais robustos com respeito a este tipo de ensino. Outra perspectiva estaria voltada a ampliação do conteúdo desta sequência abordada, e ao invés dela ser voltada apenas para o ensino de da Lei de Coulomb, fosse possível levar este tipo de ideia de sequência durante todo o semestre, ou quem sabe até o ano letivo inteiro, abordando mais conteúdos e explicitando ainda mais a HC no ensino médio. E esse tipo de abordagem traria um apanhado mais geral de como se comportaria a utilização da HC em mais de um conteúdo, ou até mesmo durante todo ano letivo, sendo possível identificar as melhores condições de aplicabilidade e as reações dos discentes quanto a constante utilização de HC.

REFERÊNCIAS

BRIGHENTE, M. F.; MESQUIDA, P. Paulo Freire: da denúncia da educação bancária ao anúncio de uma pedagogia libertadora. Pro-Posições. Curitiba - PR, V27, 1 (79), 155-177, Jan/Abr, 2016.

SILVA, M. F. DA. Abordagens Histórico-Conceituais sobre a Lei de Coulomb e as representações imagéticas da balança elétrica em livros didáticos brasileiros de Física do nível médio: um estudo de caso. 2013. 96. Trabalho de Conclusão de Curso – UEPB, Campina Grande, 2013.

HALLIDAY, D.;RESNICK, R.; WALKER, J. - Fundamentos de Física -. Rio de Janeiro LTC, 2009, v. 3, 8ª edição.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa, Porto Alegre – RS, UFRGS, 2010.

VICHESSI, Beatriz. Entrevista com Luis Carlos de Menezes. Nova Escola, s/v, s/n, p.1, ago.2013. Disponível em: https://novaescola.org.br/conteudo/923/entrevista-com-luis-carlos-de-menezes#_=_. Acesso em 25 de nov de 2020.

ASSIS, A. K. T. Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade. Montreal: Apeiron, v.1, 2010, 274p.

BRASIL, Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio: Ciências da Natureza. Brasília: MECSEF, 1998.

Brasília: MEC, 2006. Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Educação é a Base. Brasília, MEC/CONSED/UNDIME, 2018.

CRUZ, F. F. S.; KAWAMURA, M. R. D.; ABRANTES, PAULO, C. C.; MARTINS, R.; ZANETIC, J.; Mesa-Redonda: Influência da História da Ciência no Ensino de Física. Cad. Cat. Ens. Fís., Florianópolis, 5 (Número Especial): 76-92, jun. 1988

AUSUBEL, D. P. A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

APÊNDICE A – PLANOS DE AULA

Escola EREM Agamenon Magalhães

Professor: Elton David Lopes

Cidade: São Caitano – PE

Plano de aula 1

PLANO DE AULA
TEMA: Eletricidade
NÍVEL DE MODALIDADE: 3º ano do Ensino Médio.
TEMPO: 2 aulas (50 minutos cada).

OBJETIVOS
Introduzir os conceitos básicos sobre a Lei de Coulomb, com a prática de uma abordagem conceitual do assunto, com a ajuda dos alunos no intuito de promover conversações a respeito do assunto, com pouquíssimas expressões ou cálculos. Utilizando a História da ciência até a descoberta de Coulomb.

CONTEÚDO
Lei de Coulomb

RECURSOS DIDÁTICOS
Quadro branco, lápis de quadro, apagador, projetor e notbook.

METODOLOGIA
A ideia da aula é que ela seja um pouco mais conceitual e, portanto, a aula será do tipo expositiva, onde irei dialogar com os alunos, a respeito do “passado”

de Coulomb, para o auxilio disso, utilizarei uma linha do tempo, onde possivelmente se iniciará na descoberta do Âmbar e terá seu fim em 1785, ano da primeira publicação da Academia da França a respeito dos textos de Coulomb. Além disso, irei apresentar aos alunos alguns trechos do texto de Coulomb sobre sua descoberta, e por sua vez intrinsicamente será comentado sobre a biografia do mesmo, na intenção de que a falsa mística dos “gênios” da Física seja evidenciada. A ideia dessa aula é “preparar o terreno” para que eu possa introduzir de fato a Lei de Coulomb, e seus aspectos.

AVALIAÇÃO

A avaliação será apenas de forma oral, como se trata de uma aula expositiva o professor como mediador irá apenas fazer algumas perguntas para que os auxilie a propor a aula de forma mais interativa, embora Lei de Coulomb esteja totalmente vinculado a aplicabilidade da fórmula, irei nesta aula introdutória apenas mostrar as contribuições anteriores à contribuição de Coulomb, e portanto não haverá nenhum objeto de avaliação formal, já que o que se espera dessa aula é uma simples conversação a respeito da ciência, e como ela “age”.

MATERIAL DE APOIO/BIBLIOGRAFIA

HALLIDAY, D.;RESNICK, R.; WALKER, J. - Fundamentos de Física -. Rio de Janeiro LTC, 2009, v. 3, 8ª edição.

SILVA, M. F. DA. Abordagens Histórico-Conceituais sobre a Lei de Coulomb e as representações imagéticas da balança elétrica em livros didáticos brasileiros de Física do nível médio: um estudo de caso. 2013. 96. Trabalho de Conclusão de Curso – UEPB, Campina Grande, 2013.

PAUL G. HEWITT / Física conceitual; Tradução: Trieste Freire Ricci ; Revisão

Técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2015.

Plano de Aula 2

PLANO DE AULA
TEMA: Eletricidade
NÍVEL DE MODALIDADE: 3º ano do Ensino Médio.
TEMPO: 2 aulas (50 minutos cada).

OBJETIVOS
Apresentar o experimento da Balança de Torção a fim de mostrar aos alunos quais as considerações feitas por Coulomb, para que ele pudesse chegar às devidas conclusões a respeito de sua lei. Trata-se de uma aula um pouco mais empírica que conceitual, portanto será apresentada uma versão criada por mim da balança, e serão feitas as considerações cabíveis a respeito do experimento.

CONTEÚDO
Lei de Coulomb

RECURSOS DIDÁTICOS
Quadro branco, lápis de quadro, apagador, projetor e notebook.

METODOLOGIA
Como na aula anterior, já foi debatido tudo que houve antes da descoberta de Coulomb, é chegada a hora de apresentar a lei de Coulomb, mas para isso utilizarei do experimento histórico como auxilio, apresentarei ele e as considerações feitas por Coulomb, e mostrarei o experimento feito por Coulomb e quais aspectos podem ser vistos na balança de torção criada por mim que também são vistos na

balança de torção de Coulomb, seguindo o seguinte esquema: i) irei mostrar para os alunos o que cada parte do experimento de Coulomb, é no meu experimento; ii) irei mostrar-lhes o experimento trabalhando sem que eu explique-o, para ver as reações dos alunos a respeito; iii) por fim irei fazer todos os passos explicando cada acontecimento e fazer a comparação do meu experimento ao de Coulomb. Depois de feita essa análise, será evidenciada a Lei de Coulomb, e iremos trabalhar alguns exemplos, que por sua vez sejam possíveis de serem vistos experimento.

AVALIAÇÃO

Para esta aula ainda seguindo a proposta da aula anterior, a avaliação continua sendo de forma informal e oral, mas desta vez com uma única particularidade, irei trabalhar as concepções espontâneas dos alunos, no momento em que eu estiver manuseando o experimento, farei perguntas antes de realizar os movimentos, tais como, “o que você imagina que vai acontecer?”, “o que aconteceria se fosse feito o inverso?”, “se fosse utilizada uma bola de tênis, ocorreria os mesmo efeito?” e etc. O intuito dessas perguntas nada mais é para que os alunos ditem a aula na velocidade e na forma deles, mais uma vez para que o professor trabalhe como mediador de conteúdo.

MATERIAL DE APOIO/BIBLIOGRAFIA

HALLIDAY, D.;RESNICK, R.; WALKER, J. - Fundamentos de Física -. Rio de Janeiro LTC, 2009, v. 3, 8ª edição.

SILVA, M. F. DA. Abordagens Histórico-Conceituais sobre a Lei de Coulomb e as representações imagéticas da balança elétrica em livros didáticos brasileiros de Física do nível médio: um estudo de caso. 2013. 96. Trabalho de Conclusão de Curso – UEPB, Campina Grande, 2013.

PAUL G. HEWITT / Física conceitual; Tradução: Trieste Freire Ricci ; Revisão

Técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2015.

Plano de Aula 3

PLANO DE AULA
TEMA: Eletricidade
NÍVEL DE MODALIDADE: 3º ano do Ensino Médio.
TEMPO: 2 aulas (50 minutos cada).

OBJETIVOS
Findar os estudos a respeito da Lei de Coulomb, com exemplos e resoluções de questões do livro texto dos alunos. Estabelecer diferenças a respeito de Empirismo e Racionalismo. E por fim aplicar questionário de verificação de atividade.

CONTEÚDO
Lei de Coulomb

RECURSOS DIDÁTICOS
Quadro branco, lápis de quadro, apagador, projetor e notbook.

METODOLOGIA
Já que até então tudo que foi falado tratou-se de duas “classes”, Racionalismo e Empirismo serão apresentados para os alunos às diferenças entre essas classes, na intenção de que os alunos compreendam que existem maneiras de pensar diferentes, e que só por que não foi realizado um experimento, não significa que o método racional esteja sempre errado, como essas escolas de pensamentos não são vistas no Ensino Médio, acredito que seja interessante

trabalha-las embora que de forma discreta. E, além disso, serão trabalhadas algumas questões do livro texto deles, para melhor fixação, visto que há essa necessidade devido ao padrão das escolas a respeito do ensino de Física, por fim, será aplicado um questionário que nos indiquem o quão útil pode ser esta sequência didática.

AVALIAÇÃO

Já para esta data, a avalição será como já supracitada um questionário elaborado pelo mediador para melhor avaliar a eficácia da sequência didática, e, além disto, também servirá para fixação do conteúdo, visto que além das perguntas que norteiem a pesquisa, também haverão perguntas de aplicabilidade de conteúdo.

MATERIAL DE APOIO/BIBLIOGRAFIA

HALLIDAY, D.;RESNICK, R.; WALKER, J. - Fundamentos de Física -. Rio de Janeiro LTC, 2009, v. 3, 8ª edição.

SILVA, M. F. DA. Abordagens Histórico-Conceituais sobre a Lei de Coulomb e as representações imagéticas da balança elétrica em livros didáticos brasileiros de Física do nível médio: um estudo de caso. 2013. 96. Trabalho de Conclusão de Curso – UEPB, Campina Grande, 2013.

PAUL G. HEWITT / Física conceitual; Tradução: Trieste Freire Ricci ; Revisão

Técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre : Bookman, 2015.

APÊNDICE B – NOTAS DO DIÁRIO DE BORDO

Diário de Bordo

04.03.2020: Aula inicial e portanto introdutória:

Objetivos para este encontro:

1- Apresentar-se para a turma.

2- Apresentar a ideia/objetivo para a turma e socilitar colaboração.

3 - Introduzir os conceitos de HFE, e iniciar o estudo histórico a respeito da eletricidade.

Objetivos concluídos: Todos! Porém imaginava conseguir trabalhar mais conteúdos, ou melhor, esperava conseguir apresentar mais detalhes históricos ~~a~~ ponto de concluir o contexto histórico até coulomb. Só que acabam sendo interessante, já que despertou interesse nos alunos, e foram geradas inúmeras dúvidas, e esse foi o principal motivo para não conseguir aplicar total conteúdo.

Tempo: 2 aulas: Aproximadamente 2h.

05.03.2020

Tempo de encontro: 1 aula, aproximadamente 1h.

Objetivos do encontro: 1. Contextualizar o contexto histórico, fundamentando a história da Lei de Coulomb.

2. Apresentar a Lei propriamente dita e sua equação.

3. Explicar a lei de forma analítica

4. Aplicar exercícios e exemplos na prática da Lei.

Objetivos concluídos: 1, 2 e 3.

- Não foi possível aplicar exercícios e/ou exemplos, devido ao curto tempo de aula, portanto apenas apresentei a lei, e tive que dispensá-los.

10.03.2020 1 aula - Aproximadamente 1h*

Aula de exemplos, e alguns exercícios para casa.

Objetivos: 1. Mostrar na prática como funciona a lei, para que eles não perdessem os assuntos cobrados em vestibulares e provas.

2 - concluir o objetivo 4 da aula anterior.

3 - Remetê-los à balança de torção mostrada na aula anterior, como exemplo prático e breve para "n" situações problemas, propostas por mim, e dispostas em seus livros textos.

Resultado: - Notei grande aceitação do conteúdo, e entenderam muito bem os exemplos que passei, inclusive respondemos um deles em conjunto.

- Consegui concluir todos os objetivos da aula, com êxito.

11.03.2020

Tempo de encontro: 1 aula, aprox 1h.

Objetivos: 1- Resolver os exercícios de cosa em conjunto com eles.

2- ~~Entender~~ Investigar se houve dificuldade entre eles em alguma parte específica do conteúdo e portanto sanar!

3- Passar nova lista de exercício (esta proposta pelo professor, para que eu pudesse concluir os seus objetivos para o conteúdo). Ps: Não fazia parte dos planos, porém eles consideram interessante afim de pontuar a atividade em sua conduta.

Conclusão: Todos os objetivos foram sanados com êxito, e a turma mostrou um desenvolvimento muito bom.

12.03.2020

Tempo de encontro: 1 aula, aprox 1h

Objetivos: 1- Resolver lista de exercício proposta pelo professor em conjunto com a turma.

2- Aplicar questionário de conclusão de pesquisa.

Conclusão: Os objetivos foram concluídos com êxito, e portanto, encerro minha pesquisa na escola. :) :)

12.03.2020