



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA**

MAXWELTON FERREIRA DA SILVA

**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**

CAMPINA GRANDE – PB

2013

MAXWELTON FERREIRA DA SILVA

**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**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientadora: Prof^a Maria Amélia Monteiro, Dr^a

CAMPINA GRANDE – PB

2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL – UEPB

S586a Silva, Maxwellton Ferreira 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. [manuscrito] / Maxwellton Ferreira da Silva. – 2013.
96 f. : il.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2013.

“Orientação: Profa. Dra. Maria Amélia Monteiro, Departamento de Física”.

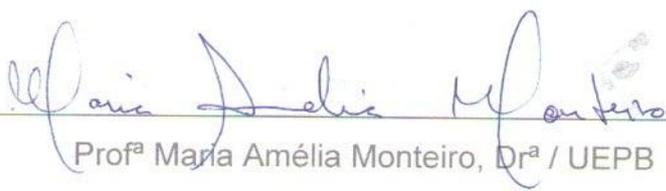
1. Ensino de Física. 2. Lei de Coulomb. 3. Imagens. I.
Título.

21. ed. CDD 371.32

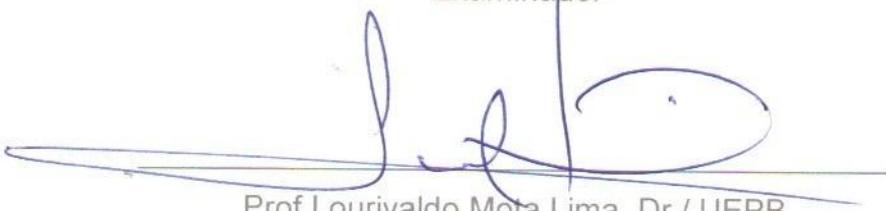
MAXWELTON FERREIRA DA SILVA

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

Aprovada em 15/ 03/ 2013


Profª Maria Amélia Monteiro, Drª / UEPB
Orientadora


Prof Elialdo Andriola Machado, MSc / UEPB
Examinador


Prof Lourivaldo Mota Lima, Dr / UEPB
Examinador

DEDICATÓRIA

Ao Deus todo poderoso e a meu pai....

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, e pela graciosidade do conhecimento que nos é oferecido;

A meu pai pelo incentivo, confiança e dedicação;

A minha mãe pela paciência, disciplina e pelo consolo nos momentos árdios por mim enfrentados;

À Professora Maria Amélia Monteiro pela dedicação, pelo apoio, pela confiança, enfim por tudo o que tem feito por mim até então;

A minha namorada Vanessa pelo apoio nos momentos difíceis, e companheirismo nos momentos alegres;

Aos integrantes da banca avaliadora, especialmente ao professor Lourivaldo, meu orientador de PIBIC, por tudo o que tem me ensinado;

Aos meus colegas de Curso: Gabriela, Bruno, Adjane, Eliabe, Felipe e Emanuel, pelos momentos de companheirismo e amizade durante o curso de graduação;

Ao seu João da coordenação, por toda paciência, ajuda e boa vontade para com os estudantes de física.

Aos professores do curso de Física, por cumprirem com seu ofício de lecionar e principalmente aos que o fazem com amor e dedicação, contribuindo assim para minha formação acadêmica.

“E conhecereis a verdade, e a verdade vos libertará”.
João 8: 32

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar em livros didáticos de física utilizados na educação básica brasileira, abordagens relacionadas à Lei Fundamental da eletrostática, denominada Lei de Coulomb, tais como o desenvolvimento conceitual da eletrostática associado ao contexto histórico, os procedimentos técnicos utilizados por Coulomb na construção e utilização da balança elétrica, assim como os resultados obtidos e que possibilitaram a elaboração daquela Lei, a iconicidade das representações imagéticas da balança elétrica e a coerência com as abordagens textuais. Para a investigação, produzimos um referencial teórico e algumas questões de pesquisa norteadoras dos procedimentos. Analisamos oito livros didáticos conforme critérios preestabelecidos, as análises foram organizadas em quatro seções, conforme mencionado. Constatamos que, quando os livros abordam os dois primeiros aspectos citados, abordam de forma simplificada, distorcida e algumas vezes, equivocada. Em relação às representações imagéticas, constatamos um baixo grau de iconicidade e várias inconveniências entre as imagens e os textos. Com isso percebemos que certas inconveniências perduram nos livros didáticos, o que desperta certa dúvida sobre a eficácia dos processos de elaboração e avaliação dos livros didáticos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de livros didáticos, Balança elétrica de Coulomb, Imagens.

ABSTRACT

This work aims to analyse in physics textbooks of Brazilian high school approaches related to Fundamental Law of Electrostatics named Coulomb Law such as the development conceptual of electrostatic associated historic context, the techniques procedures used for Coulomb in construction and utilization of the electric balance, as the results obtained and that enabling the preparation that Law, the iconicity of imagistic representations of electric balance and the consistency with the textual approaches. To the research produced a theoretical reference specific and some research questions guiding procedures. Analyzed eight textbooks according preestablished criteria as mentioned. Concluded, when the textbooks address the two first aspect cited, addresses a simplified, distorted and sometimes, misguided. Concerning imagistic representations found a low degree iconicity and several inconvenient between and texts and pictures. It realized certain improper linger in textbooks, which arouses certain doubts about the effectiveness of processes of development and evaluation of textbooks.

KEYWORDS: analysis of textbooks, Coulomb electric balance, pictures.

LISTA DE IMAGENS

IMAGEM 1 –	Pedaço de âmbar	25
IMAGEM 2 –	Comportamento de algumas bússolas ao redor de uma esfera imantada.....	27
IMAGEM 3 –	Versorium de Gilbert.....	28
IMAGEM 4 –	Réplica da máquina eletrostática desenvolvida por Guericke.....	30
IMAGEM 5 –	Máquina de Hauksbee.....	31
IMAGEM 6 –	Garrafa de Leyden sendo carregada em uma máquina eletrostática de Ramsden.....	31
IMAGEM 7 –	Eletrômetro de Nollet.....	34
IMAGEM 8 –	Eletroscópios de folha de ouro.....	35
IMAGEM 9 –	Duplicador elétrico.....	35
IMAGEM 10 –	Balança de torção utilizada por Coulomb para determinar a natureza da força de torção em fios.....	41
IMAGEM 11 –	Balança elétrica de Coulomb, de 1785, e suas partes constituintes.....	43
IMAGEM 12 –	Representação da balança elétrica, apresentada pelo livro A.....	75
IMAGEM 13 –	Representação da balança elétrica, apresentada pelo livro B.....	76
IMAGEM 14 –	Vista superior da balança elétrica, apresentada no livro B B.....	77
IMAGEM 15 –	Ilustração da atração e repulsão entre as esferas eletrizadas.....	78
IMAGEM 16 –	Ilustração da balança elétrica de Coulomb, semelhante àquela apresentada nas Memórias de Coulomb.....	78
IMAGEM 17 –	Fotografia da balança elétrica.....	78
IMAGEM 18 –	Ilustração da balança elétrica de Coulomb extraída do livro D.....	79
IMAGEM 19 –	Ilustração da balança elétrica extraída do livro E.....	79

IMAGEM 20 – Ilustração da balança elétrica de Coulomb apresentada pelo livro F.....	80
IMAGEM 21 – Ilustração da balança elétrica de Coulomb apresentada pelo livro G.....	81
IMAGEM 22 – Ilustração da balança elétrica de Coulomb apresentada pelo livro H.....	81

LISTA DE QUADROS

QUADRO I-	Unidades de medidas do sistema antigo relacionadas com o sistema C.G.S.....	40
QUADRO II-	Referências dos livros analisados.....	54
QUADRO III-	Principais diferenças entre os procedimentos qualitativos e quantitativos	56
QUADRO IV-	Categorias das variáveis de análises segundo Perales e Jimenez (2002).....	65
QUADRO V-	Categorias de análise com relação ao texto principal.....	66
QUADRO VI-	Escala de iconicidade segundo Moles (1981, p. 101). Tradução de Carneiro (1997).....	67

SUMÁRIO

	APRESENTAÇÃO	13
1	INTRODUÇÃO	16
1.1	O Papel do livro didático no ensino de ciências.....	16
1.2	Análises sobre alguns conteúdos de física presentes em livros didáticos.....	18
1.3	A utilização de experimentos históricos no ensino de ciências.....	20
2	A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO NO INÍCIO DA ERA MODERNA	24
2.1	Algumas ideias primordiais referentes aos efeitos elétricos e magnéticos.....	24
2.2	O desenvolvimento da eletricidade enfatizando os séculos XVII e XVIII.....	29
3	ANÁLISES E COMENTÁRIOS DE FRAGMENTOS DAS MEMÓRIAS DE COULOMB SOBRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO	36
3.1	Conjecturas iniciais acerca da formulação da lei de Coulomb.....	37
3.2	Charles Augustin de Coulomb: breve biografia	38
3.3	MEMÓRIAS SOBRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO	42
3.3.1	Construção da balança elétrica	42
3.3.2	Lei fundamental da eletricidade	44
3.3.3	Procedimentos operacionais realizados com a balança elétrica e os resultados obtidos	44
3.3.4	Explicações dos resultados obtidos por Coulomb	45
3.4	Comentários dos resultados obtidos por coulomb.....	49
4	PROCEDIMENTOS E OPÇÕES METODOLÓGICAS	52
4.1	O perfil da pesquisa	52
4.2	Características da pesquisa qualitativa e o estudo de caso.....	55
5	DISCURSOS IMAGÉTICOS	60
5.1	O papel das imagens no ensino e suas funções nos livros didáticos.....	61
5.2	A relação de coerência entre o texto principal e a imagem nos livros didáticos.....	65

5.3	A iconicidade das representações imagéticas.....	66
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
6.1	Análise do processo Histórico-Conceitual referente à formulação da lei de Coulomb nos livros didáticos de física	69
6.2	Análise da construção da balança elétrica e dos procedimentos realizados por Coulomb que corroboraram para os resultados alcançados.....	71
6.3	Análise do grau de iconicidade das representações imagéticas da Balança Elétrica	75
6.4	Análise da coerência entre o texto principal e as representações imagéticas da Balança Elétrica.....	82
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

APRESENTAÇÃO

O intuito deste trabalho pauta-se em investigar algumas abordagens associadas à lei de Coulomb, que normalmente são ocultadas pelos livros didáticos de física, ou por vezes tratadas de maneira equivocada. Estas abordagens dizem respeito aos aspectos históricos do desenvolvimento da eletricidade; a construção e o uso da balança elétrica, ou “balança de torção” comumente denominada, que culminaram nos resultados descritos por Coulomb em suas Memórias, apresentadas à Academia de Ciências da França, e conseqüentemente na formulação da Lei Fundamental da Eletrostática ou Lei de Coulomb; além da iconicidade e a relação da imagem com o texto principal, referentes às representações imagéticas da mencionada balança.

Desta forma avalia-se ser conveniente desenvolver um estudo que contemple cada abordagem investigada, e as mesmas serão detalhadas em capítulos específicos.

A monografia é constituída por seis capítulos. O capítulo 1 que corresponde à Introdução e divide-se em duas seções, a primeira aborda o papel do livro didático no ensino de ciências, haja vista que o nosso propósito é analisar livros didáticos de física, tornando-se indispensável investigar o mesmo sobre os mais variados aspectos, por meio de pesquisas que tratam da temática. A segunda seção dedica-se aos experimentos históricos, situando que a “balança de torção” é considerada como um importante experimento histórico na área da eletrostática.

O capítulo 2 destina-se a fazer um apanhado histórico que contempla o desenvolvimento da eletrostática e do magnetismo sobre os aspectos teóricos e experimentais, que foram de suma importância para a formulação da Lei de Coulomb. Este capítulo se divide em duas seções, a primeira trata de algumas ideias iniciais de que se tem registro, acerca do desenvolvimento dos estudos da eletricidade e do magnetismo; a segunda traz uma abordagem sobre a eletricidade enfatizando os séculos XVII e XVIII, período de grande ascensão desta área da física.

O capítulo 3 relata as experiências realizadas por Coulomb através de sua balança elétrica, neste sentido organiza-se em 6 seções. A primeira trata dos

trabalhos iniciais desenvolvidos por Coulomb acerca das forças de torções, além de algumas ideias iniciais sobre o comportamento da força elétrica que foi verificado experimentalmente a posteriori. Ainda nesta seção é mencionada uma pequena biografia do próprio Coulomb. A segunda seção aborda o processo de construção da balança elétrica. A terceira seção explicita a conclusão obtida por Coulomb através de suas experiências com a mencionada balança. A quarta seção descreve os procedimentos operacionais realizados por Coulomb utilizando a mesma, além das observações por ele mencionadas. A quinta seção ocupa-se em explicar tais observações e os resultados alcançados por Coulomb, que se encontram descritos em suas memórias. A sexta seção é destinada a tecer alguns comentários acerca das explicações de tais resultados.

O capítulo 4 trata dos procedimentos metodológicos empregados nesta pesquisa, e por sua vez, está dividido em duas seções. A primeira faz menção aos processos, critérios e elementos a serem analisados nos livros didáticos. A segunda por sua vez aborda as características de uma pesquisa qualitativa e do estudo de caso.

O capítulo 5 traz uma abordagem acerca das representações imagéticas, enfatizando principalmente os aspectos a serem analisados nos livros didáticos selecionados. Este por sua vez é dividido em três seções, iniciando-se com uma breve menção introdutória sobre imagens em torno de definições, classificações, seu papel no ensino, além das funções nos livros didáticos. Em seguida particularizam-se as outras duas seções com os aspectos a serem analisados nos livros didáticos, sendo estes o grau de iconicidade das representações imagéticas da elétrica, presentes nos livros mencionados e a coerência entre a abordagem textual e a imagem da balança elétrica a que o texto se refere.

O capítulo 6 trata dos resultados obtidos acerca de todos os aspectos a serem analisados nos livros. Este capítulo divide-se em quatro seções. A primeira buscou investigar a abordagem do processo histórico- conceitual da Lei de Coulomb nos livros didáticos. A segunda visa analisar como os mesmos mencionam o processo de construção da balança elétrica e os procedimentos operacionais realizados por Coulomb para com esta mesma balança, assim como as observações relatadas em suas *Memórias*. A terceira deteve-se a investigar as representações imagéticas da balança elétrica presentes nos livros didáticos, no sentido de identificar o grau de

semelhança, que as mesmas apresentavam com relação à imagem original também presente nas *Memórias de Coulomb*, e a quarta a congruência entre as representações imagéticas e a abordagem textual associada.

Por fim conclui-se a pesquisa por meio das considerações finais, onde se relatam as conclusões em torno das temáticas investigadas.

Buscou-se desta forma elucidar possíveis equívocos encontrados em livros didáticos, acreditando-se ter propiciado uma visão mais abrangente sobre os estudos de Coulomb ligados a formulação da Lei Fundamental da Eletricidade utilizando uma balança elétrica, que normalmente não são observados nos livros didáticos, de certa forma espera-se que esta pesquisa possa ter aclarados certas questões e despertado a curiosidade para outras que fogem dos propósitos aqui mencionados.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O presente capítulo está organizado em três seções específicas. A seção 1.1 trata do papel do livro didático no ensino de ciências. Contém um apanhado acerca de algumas ideias que apontam vantagens, equívocos, propósitos, utilização e qualidade dos livros didáticos. Tais proposições foram apontadas por pesquisas que se encontram mencionadas ao longo desta seção, publicadas nos principais periódicos nacionais da área de ensino de ciências.

A seção 1.2 traz especificamente algumas pesquisas que analisaram conteúdos de física em livros didáticos, tais como: história e filosofia da ciência, a lei da alavanca de Arquimedes, física moderna e contemporânea, eletrostática e lei de Coulomb. Estas pesquisas relatam que os conteúdos analisados em livros didáticos estão permeados de equívocos, erros e distorções, os quais são apresentados detalhadamente no decorrer desta seção.

Na seção 1.3 faz-se uma abordagem introdutória da história da ciência no ensino e seus possíveis favorecimentos. Esta é conduzida por meio das pesquisas que tratam da temática, mencionadas ao longo desta seção. Será relatado que uma das possibilidades de trabalhar a história da ciência no ensino é por meio de experimentos históricos. No decorrer da seção encontra-se ainda pontuado o que se considera como sendo um experimento histórico, as possibilidades de serem trabalhados nas aulas de ciências, e suas potencialidades para o ensino.

1.1 O papel do livro didático no ensino de ciências

O livro didático tem assumido uma posição privilegiada nas aulas de ciências, por ser um dos recursos pedagógicos mais utilizados como fonte de consulta, tanto por professores quanto por alunos da educação básica. Por outro lado, apesar de sua ampla presença no contexto educacional, os livros didáticos se mostram bastantes limitados quanto a suas abordagens (CAMPANARIO, 2001).

Campanario (op.cit) discute ainda, que embora, normalmente os livros didáticos de ciências estejam associados ao conhecimento científico correto e certificado, não são raros os erros conceituais e as lacunas nas explicações

presentes nos mesmos, além da visão fragmentada de ciência que, às vezes, é transmitida aos alunos.

Destacando o contexto educacional brasileiro, a intensa utilização do livro didático se faz presente, utilizado pelo aluno como fonte de estudo e pesquisa e para o professor, um recurso norteador de programação e desenvolvimento de atividades. Este intenso uso do livro didático contrasta com as recomendações existentes nos Parâmetros Curriculares Nacionais, que defendem a utilização de outros recursos pedagógicos pelo professor, além do livro didático (PIMENTEL, 2006).

Por outro lado, Neto e Fracalanza (2003) argumentam que professores cada vez mais têm recusado seguir fielmente as sugestões contidas nos livros didáticos, disponibilizados no mercado, conseqüentemente, estão sempre fazendo adaptações com a finalidade de adequá-los à sua realidade escolar e às suas concepções pedagógicas.

Selles e Ferreira (2004) discutem que, no Brasil, o livro didático adquiriu ampla importância no cenário educacional a partir da década de 70 do século XX, como tentativa de compensar a crescente desqualificação profissional dos professores. Essa desqualificação contempla a rapidez da formação do professor, associada às políticas salariais que demandam do profissional uma maior quantidade de horas-aula. Nessa perspectiva, o livro didático tem se apresentado como instrumento imprescindível para o desenvolvimento de atividades, tendo em vista, a grande quantidade de horas-aula que o professor deve arcar. Sem o auxílio do livro didático seria inviável o professor realizar tais atividades.

Selles e Ferreira (op. cit.) complementam que, para as séries iniciais do ensino fundamental, naquela mesma época, um número crescente de professores encontrou no livro didático um colaborador silencioso, que seleciona os conteúdos a serem trabalhados, bem como a sequência da abordagem, os procedimentos metodológicos a serem adotados em sala de aula, atividades e exercícios a serem requeridos dos estudantes, etc.

Na visão de Scaff (2004) o livro didático também pode ser encarado como um instrumento de controle ideológico, explicitando como exemplo, o período em que o Brasil esteve sob o regime da ditadura militar, especificamente, a partir da década de sessenta do século XX. Geralmente, as informações contidas nos livros didáticos desta época continham mensagens de uma realidade próspera e promissora.

Na concepção da função do livro didático ser uma ferramenta que preenche uma lacuna deixada pelo professor no contexto educacional, destacam-se as orientações do Banco Mundial. Segundo este, o livro didático desempenha um papel importante, no que diz respeito à aprendizagem dos alunos, chegando a superar os conhecimentos e as experiências dos professores (MONTEIRO, 2010).

Acerca das discussões sobre a qualidade das coleções de livros didáticos, Megid Neto e Fracalanza (2003) aduzem que há pelo menos duas décadas, pesquisadores acadêmicos dedicam-se a analisar deficiências encontradas em livros didáticos, além de proporem sugestões para a melhoria da qualidade dos mesmos. No âmbito desta discussão, notificam-se a seguir, algumas pesquisas que analisaram abordagens sobre variados conteúdos em livros didáticos brasileiros de ciências e constataram diversas inconsistências, distorções, omissões.

1.2 Análises sobre alguns conteúdos de física presentes em livros didáticos

No tocante às abordagens sobre a história e a filosofia da ciência nos livros didáticos, Medeiros e Monteiro (2002) analisaram 31 livros didáticos da educação básica e constataram além da descontextualização histórica, omissões em relação aos pressupostos e as limitações de validade das ideias de Copérnico.

Ainda na mesma área, Carmo et al (2000) analisaram os enfoques sobre o experimento de Joule em livros didáticos brasileiros. Os autores constataram graves omissões e distorções históricas que certamente favorecerão uma compreensão distorcida pelo leitor.

Segundo Martins (2006) a história da ciência propicia uma visão abrangente, acerca da natureza da ciência e do desenvolvimento científico, por outro lado, este caráter está oculto nos livros didáticos, que enfatizam apenas os resultados científicos, os conceitos e as técnicas de análise.

Em relação ao estudo da lei da alavanca de Arquimedes, Cardoso et al (2006) analisaram quatro livros didáticos acerca da temática e baseando-se na obra original constataram que há diversas inconsistências conceituais.

Defendendo a ideia de que atividades experimentais devem ser abordadas em livros didáticos de ciências, Panarari et al (2009) analisaram quatro livros didáticos de ciências do oitavo ano e concluíram que há algumas dificuldades quanto a abordagem deste tipo de atividade. Destacam a ausência de clareza e explicitação

dos objetivos, além dos roteiros que quando são mencionados, mostram-se confusos ou errôneos. Nesta perspectiva, os autores sugerem aos professores uma maior atenção na seleção e utilização de livros didáticos em suas aulas.

No âmbito da Física Moderna e Contemporânea (FMC), Dominguni (2012) analisou cinco livros didáticos de física recomendados pelo Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio (PNLEM) e com a finalidade de investigar as opiniões dos autores acerca da inserção da FMC, constatou que todos os livros didáticos abordam a temática, embora de forma sintética, e além do mais, os autores apresentam opiniões bastante conflitantes e divergentes entre si sobre os mesmos assuntos.

Pimentel (2006) analisou livros didáticos de ciências de 6º a 9º anos especificando o conteúdo de física, e constatou nos mesmos diversos problemas, tais como: imprecisões conceituais; experimentos com resultados irrealistas; problemas com as ilustrações, e a indução dos alunos a situações de riscos em algumas sugestões de atividades experimentais. Neste sentido, o autor alerta que os professores devem estar atentos na análise e seleção dos livros didáticos que utilizarão, além de estarem preparados para corrigir possíveis erros contidos nos mesmos.

Destacando o conteúdo de eletrostática, algumas pesquisas publicadas em periódicos nacionais, analisam como esta vem sendo abordada em livros didáticos de circulação nacional.

Gução et al (2008), por exemplo, realizaram um levantamento acerca da abordagem histórica sobre a eletrostática no século XVIII, em quatro livros de física de ensino médio. Os autores constataram que as abordagens sobre eletrostática são superficiais, equivocadas e desarticuladas do contexto histórico, corroborando para uma visão de ciência pronta e acabada, podendo comprometer a inserção da história da ciência no ensino de ciências.

Ainda no contexto da eletricidade, Teixeira e Krapas (2005) analisaram abordagens de livros didáticos de ensino médio sobre a Lei de Coulomb, na perspectiva da transposição didática, ou seja, como o saber produzido pelo cientista é adaptado para o ensino. Os autores constataram que os livros didáticos analisados apresentam ideias distorcidas e distanciadas em relação aos pressupostos histórico-conceituais da construção da “balança de torção” e da formulação da lei de Coulomb.

Diante das discussões concernentes aos livros didáticos, citadas anteriormente, o presente estudo visa analisar em livros didáticos brasileiros do nível médio, as abordagens histórico-conceituais referentes à Lei de Coulomb e as representações imagéticas acerca da balança elétrica. Com o intuito de investigar, como os livros em questão esgrimem o contexto histórico e a articulação deste com o desenvolvimento do conhecimento científico, acerca da eletricidade e do magnetismo que corroboraram com a formulação da Lei Fundamental da Eletricidade e do Magnetismo, ou Lei de Coulomb. Por outro lado, busca também analisar a congruência entre a abordagem textual e as representações imagéticas da balança elétrica.

1.3 A utilização de experimentos históricos no ensino de ciências

Agregar História e Filosofia da Ciência (HFC) ao ensino tem sido o cenário de várias discussões, que não são recentes. Tem consolidado um campo de pesquisa e mobilizado diversos pesquisadores nas últimas décadas, que discutem sobre as potencialidades de sua utilização nas aulas de ciências do ensino básico e superior (PRESTES; CALDEIRA, 2009).

Laranjeiras (1994) discute que duas vertentes sobre a abordagem da HFC no ensino têm sido observadas. Uma faz menção à história da ciência como elemento auxiliar para a compreensão conceitual das teorias científicas, a outra aborda a HFC como elemento constituinte da própria ciência, ou seja, a compreensão bem fundamentada da ciência deve abranger um caráter histórico.

Silva e Teixeira (2009) alegam que a história da ciência deve ser pensada como algo além de um recurso didático, que proporcione um ambiente interdisciplinar, capaz de propiciar aos alunos, a compreensão de significados, a importância e o contexto no qual a ciência foi desenvolvida, não limitando o ensino desta somente a nomes, fórmulas e resolução de exercícios.

Nas recomendações dos documentos oficiais que regem o ensino contendo as recomendações para a educação básica brasileira, os Parâmetros Curriculares Nacionais Para o Ensino Médio (PCNEM), advogam o uso da história da ciência no ensino. Desta forma recomendam:

[...] A física percebida como construção histórica, como atividade social humana, emerge da cultura e leva à compreensão de que modelos explicativos não são únicos nem finais, tendo se sucedido ao longo dos

tempos, como o modelo geocêntrico, substituído pelo heliocêntrico, a teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, ou a sucessão dos vários modelos explicativos para a luz. O surgimento de teorias físicas mantém uma relação complexa com o conteúdo social em que ocorreram (BRASIL, 1999, p. 235).

Ainda na perspectiva da HFC, Matthews (apud PRESTES e CALDEIRA, 2009) alega que a utilização da mesma proporciona diversas contribuições, quando agregadas ao ensino das ciências, em vários aspectos:

- Pode tornar a ciência mais próxima da sociedade, vinculando-as a questões pessoais, éticas, culturais e políticas;
- Promove uma melhor compreensão de conceitos científicos e métodos;
- Neutraliza o cientificismo e dogmatismo que são frequentemente encontrados nos manuais de ensino de ciências e nas aulas;
- Proporciona interações entre tópicos, e disciplinas despertando a natureza interativa e interdependente das relações humanas;
- Abordagens históricas conectam o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas.

Por outro lado, as discussões em torno da HFC têm possibilitado o surgimento de algumas questões, dentre elas, conjectura-se: como a HFC deve ser introduzida no ensino?

Martins (2006) propõe que um estudo complexo envolvendo episódios históricos, permite a compreensão das relações existentes entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não se desenvolve de maneira isolada das outras coisas, mas está agregada ao desenvolvimento histórico, a uma cultura, e que influencia e sofre influências de aspectos da sociedade.

Para Höttecke (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 HFC, 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”* (p. 343).

Höttecke (op. cit.) propõe como encaminhamento para este impasse, a replicação de experimentos históricos, semelhante os originais. Argumenta ainda que este é um método de historiografia da ciência, bem como de compreender e

ensinar história da ciência, e que além do mais, possibilita-se adquirir um conhecimento detalhado, acerca da dimensão histórica da prática experimental e suas relações com o desenvolvimento científico.

Paula e Laranjeiras (2005) entendem por experimentos históricos, como sendo:

“Aqueles experimentos realizados e/ou pensados, experiências de pensamento em um dado contexto 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” (p. 2).

Algumas possibilidades sobre o uso de experimentos históricos no contexto educacional têm sido constatadas na literatura. Heering (1999), por exemplo, tem utilizado como proposta a reconstrução dos experimentos históricos, mantendo o máximo de semelhança com original. Vale salientar que para a replicação dos experimentos contemplados, desenvolve-se um estudo prévio sobre o contexto da produção dos experimentos tratados. Entende-se que isso agrega a dimensão empírica ao contexto histórico mais amplo.

Outra tendência de utilização dos experimentos históricos no contexto educacional é desenvolvida por um grupo da Bakken Library and Science Museum, localizada no estado de Minnesota, nos Estados Unidos da América. Para este, não há preocupação de reproduzirem-se fielmente os experimentos originais, o interesse principal está em observar os princípios físicos subjacentes aos mesmos (KIPINIS, 1995).

Outra possibilidade de utilização dos experimentos históricos no contexto educacional é desenvolvida por um grupo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, na qual, de certa forma, unifica as duas tendências anteriores, ou seja, preocupam-se em reproduzir cópias fieis de experimentos históricos originais, assim como obter os resultados físicos consistentes. Inclusive, os participantes deste terceiro grupo implementaram a reprodução de algumas máquinas eletrostáticas dos séculos XVIII e XIX, as quais incorporam uma certa complexidade física (MEDEIROS; MONTEIRO Jr, 2001).

Na perspectiva de utilizar experimentos históricos, Niaz e Rodríguez, (2005) reportaram-se ao experimento da gota de óleo de Millikan–Ehrenhaft, defendendo que as controvérsias relacionadas ao mesmo, podem ser introduzidas no contexto da sala de aula para motivar os estudantes a debaterem as controvérsias da construção da ciência.

Quintal e Moraes (2009) implementaram o uso de experimentos históricos que contemplam abordagens sobre o eletromagnetismo, no contexto educacional. Os autores constataram que estes podem ser utilizados para além de revelar o caráter empírico da ciência, instigar os alunos ao debate sobre questões de cunho histórico e filosófico, revelando que a ciência não é constituída por ideias prontas e nem acabadas, mas é o resultado do esforço humano na pesquisa, na elaboração de hipótese e discussões.

No contexto em que a replicação dos experimentos históricos no ensino das ciências é inviável, devido o grau de complexidade da construção dos mesmos, além da dificuldade de obtenção de recursos e materiais necessários, algumas pesquisas, mencionadas logo a seguir têm sugerido alternativas para trabalhar-se com experimentos históricos, tais como:

Monteiro e Lisboa-Filho (2008) defendem que os estudos de caso sobre experimentos históricos é uma alternativa para aqueles contextos em que a replicação do experimento é incondicional. Os autores inclusive desenvolveram um estudo de caso histórico acerca do espectroscópio de prismas, construído por Kirchhoff e Bunsen, no final da década de 1850, realçando algumas potencialidades heurísticas do mesmo.

Noutra perspectiva, Ribeiro Júnior et al (2012) propõem a utilização de simulações computacionais de experimentos históricos, como estratégia para articular a dimensão histórica e empírica da ciência no ensino, ressaltando que as simulações devem ser trabalhadas concomitantemente com abordagens textuais, além das constantes intervenções do professor. Caso contrário, a dimensão histórica agregada à empírica permanece oculta e as simulações tornam-se apenas um recurso técnico.

CAPÍTULO 2

A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO NO INÍCIO DA ERA MODERNA

Este capítulo destina-se a fazer uma explanação acerca do contexto histórico do desenvolvimento de algumas ideias relacionadas aos fenômenos elétricos e magnéticos, tendo como finalidade situar o contexto em que a lei de Coulomb também está inserida. Para nortear tal explanação utilizamos quatro referências principais, que são citadas ao longo do capítulo. Por outro lado, o mesmo se encontra dividido em duas seções. A seção 2.1 menciona algumas ideias primordiais que se tem registro, acerca das observações e relatos de fenômenos elétricos e magnéticos, que datam desde a antiguidade até o século XVI, e de certa forma impulsionaram outras ideias e descobertas ligadas a eletricidade.

Na seção 2.2 encontra-se um panorama de alguns estudos e descobertas ligados à eletrostática, contemplando os séculos XVII e XVIII. Nesta abordagem são relatados experimentos construídos, fenômenos constatados e teorias formuladas, para que se tenha uma noção das circunstâncias e da trajetória que os estudos desta área da física se submeteram até a formulação da lei de Coulomb.

2.1 Algumas ideias primordiais referentes aos efeitos elétricos e magnéticos

Desde a Antiguidade, especificamente na Grécia, as manifestações de alguns fenômenos, posteriormente identificados como elétricos¹ e magnéticos² eram conhecidas, embora os aspectos causais e as explicações para tais fenômenos pautavam-se em argumentos filosóficos. Um efeito referente à eletricidade, bastante curioso, e já observado naquela época é o efeito âmbar³, a propriedade que o âmbar

¹ O termo elétrico vem de “elekton”, que em grego significa âmbar.

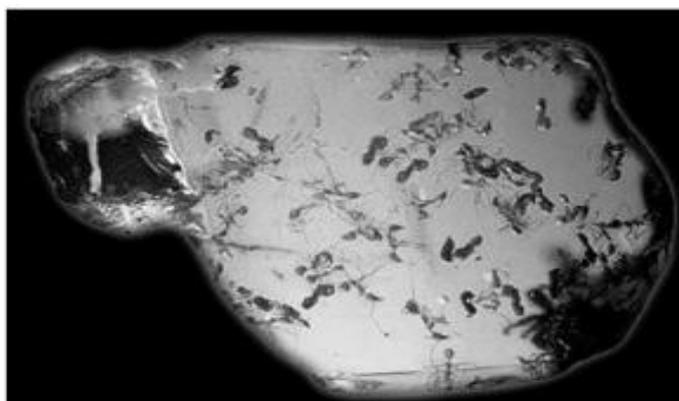
² A palavra magnetismo deriva de Magnésia, Região onde os Gregos antigos encontravam a magnetita ou pedra-ímã, que tinha a propriedade de atrair o ferro.

³ Âmbar é uma resina fóssil, proveniente de uma espécie extinta de pinheiro do período terciário, sólida, amarelo-pálida ou acastanhada, transparente ou opaca, utilizada na fabricação de vários objetos.

tem de atrair materiais leves (plumas, pelo de animal, palha seca, etc.) quando atritado provavelmente com cabelo, ou tecido (ASSIS, 2010).

De acordo com Assis (op. cit.) alguns autores modernos atribuem o mérito pela primeira experiência elétrica realizada com o âmbar a Tales de Mileto, que viveu aproximadamente entre 546 a 625 a.C. No entanto, escavações arqueológicas mostraram que o âmbar já era conhecido, muito antes de Tales, e as pessoas utilizavam-no como objetos de adorno. Porém não se tem nenhum registro desta época, acerca da propriedade elétrica do âmbar.

Imagem 1 - Pedaco de âmbar. (In: ASSIS, A. K. T. Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade. Montreal: Apeiron, v. 1, 2010, p. 18).



Assis (op. cit.) afirma ainda que a citação mais antiga que se tem registro do efeito âmbar encontra-se na obra Timeu, escrita por Platão. Parte do fragmento contendo tal citação encontra-se logo abaixo:

“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’água, para a queda do raio, para os fenômenos maravilhosos de atração, produzidos pelo âmbar e pelas pedras d’Heracléia⁴. Em nenhum desses efeitos jamais, em verdade, existe virtude atrativa” (p. 163-165).

O efeito magnético de atração produzido pela pedra d’Heracléia em determinados objetos, como o ferro, também foi observado pelos gregos. A explicação para este fenômeno, segundo Tales de Mileto, devia-se a presença de

⁴ Pedras d’Heracléia era a denominação grega para a pedra-ímã, ímã-natural ou magnetita.

uma “alma”⁵ na pedra-ímã. Desta forma tinha a propriedade de produzir movimento em determinados objetos que estivessem nas suas proximidades. Na visão de Platão tanto o efeito produzido pelo âmbar, quanto pela pedra-ímã devia-se ao fato de não existir vazio, e as coisas sempre retornavam para seu local de origem (ASSIS, 2010).

Nestas circunstâncias, estes pensadores aparentemente não distinguiram os efeitos atrativos produzidos pelo âmbar em relação àqueles produzidos pelo ímã. No entanto, vale ressaltar que ao contrário do efeito de atração transitório do âmbar, na magnetita (ímã), o efeito de atração era permanente e não necessitava de ser atritado com nenhum outro material, porém, manifestava-se quando aproximado de determinados materiais, como por exemplo, o ferro.

Por outro lado, os chineses foram os primeiros a descobrir que o ímã poderia ser utilizado como instrumento de orientação, indicando a direção, ou seja, isso levava a conjectura de que a terra também era um grande ímã (BERNAL, 1975).

Nesse contexto, os chineses já dominavam a técnica de construir e aperfeiçoar bússolas. Num livro publicado em 1044 d.C, Intitulado "*Compêndio das Técnicas Militares Importantes*", o chinês Zeng Gong- Liang já fazia referência às propriedades da agulha magnética (ROCHA; RIBEIRO FILHO, 1999).

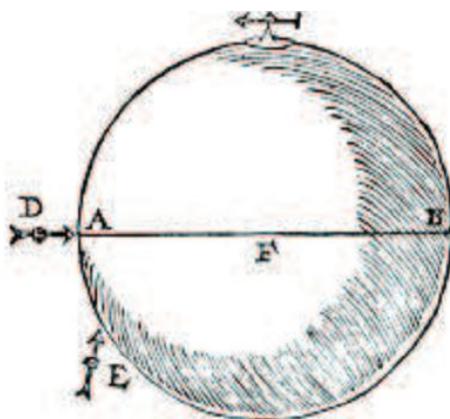
Em meados do século XIII, na Europa, uma propriedade importante do ímã tornou-se conhecida através das investigações de Pierre de Maricourt, engenheiro da armada de Charles d'Anjou, ele constatou que ao se segmentar um ímã, as duas partes apresentavam dois polos, semelhantemente ao original, evidenciando um dos pressupostos fundamentais da teoria eletromagnética, a ausência de monopolo magnético, e a partir das suas experiências de deposição de pequenas tiras de ferro sobre um ímã esférico, denominou de *polos* o ponto de cruzamento das curvas ascendentes formadas pelas mencionadas tiras (ROCHA; RIBEIRO FILHO, op. cit.).

O estudo do magnetismo teve um importante avanço no final do século XVI, a partir das investigações desenvolvidas por William Gilbert (1544 - 1603). Em 1600, ele apresentou uma obra que continha um estudo aprofundado do magnetismo – *The Magnete*. Neste livro menciona os escritos antigos sobre os efeitos magnéticos da pedra- ímã, além do mais descreve experimentalmente e de forma detalhada, como funciona o magnetismo terrestre (BERNAL, 1975).

⁵ O termo alma na visão de Tales refere-se à propriedade que pedra-ímã tem de mover os corpos para próximo de si por atração.

Tal experiência consiste na utilização de uma esfera imantada com pequenas bússolas ao redor da mesma, e a partir do comportamento das pequenas bússolas, interpretou o mecanismo do “campo magnético”⁶ ao redor da esfera, em termos de intensidade e direção. Analogamente conjecturou que os mesmos efeitos ocorriam com o planeta Terra que seria na verdade um grande ímã. Desta forma conseguiu explicar o comportamento das bússolas sobre a superfície terrestre, além do mais, concluiu que o campo magnético tem intensidade máxima nos polos e diminui à medida que a bússola se afasta dos mesmos (ASSIS, 2010).

Imagem 2 - Comportamento de algumas bússolas ao redor de uma esfera imantada (In: ASSIS, 2010, p. 18).



Em outro experimento, Gilbert constatou que a intensidade da atração magnética produzida por uma esfera era maior do que a produzida por uma barra, nas mesmas condições, ou seja, a força magnética depende da forma geométrica do material (BERNAL, 1975).

Corroborando com a pressuposição de que a Terra seria um grande ímã, Gilbert propôs que por analogia, os outros planetas e o Sol também seriam. Através desta configuração, explicava que as atrações descritas no modelo astronômico copernicano entre o sol e os planetas, seria uma espécie de mecanismo magnético (BERNAL, 1975). Nesta perspectiva, Gilbert apresentou um modelo explicativo que se mostrava coerente com o modelo astronômico copernicano.

Gilbert não se deteve apenas a investigar os fenômenos magnéticos, mas, expandiu seus estudos também para os fenômenos elétricos. Acerca de suas experiências com eletricidade, denominou de *elétricos* os materiais que atritados

⁶ A ideia de campo magnético ainda não havia sido introduzida na física naquela época, passando a ser utilizada a partir do século XIX.

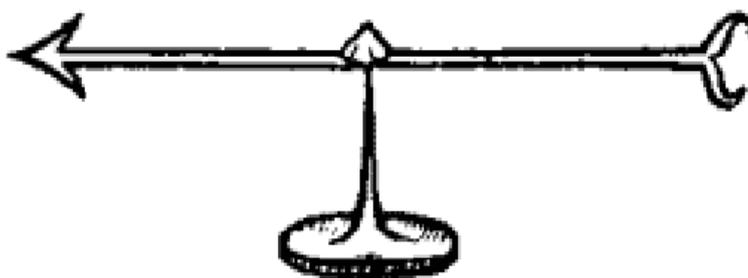
com outros materiais específicos exibiam o mesmo comportamento elétrico do âmbar. Analogamente, denominou de *não elétricos* aos materiais que não manifestavam tal propriedade, com isso a eletricidade passa a ser vista não como propriedade exclusiva do âmbar, mas de vários outros materiais (MEDEIROS, 2002).

Gilbert mencionou também que a eletrização dos materiais era proveniente da liberação de um *effluvium* ou eflúvio⁷ ocasionado pelo calor produzido quando estes eram atritados (ROCHA; RIBEIRO FILHO, 1999).

Constatou também que a atração decorrente do âmbar (elétrica) distinguia-se da magnética pela ausência de regiões polares nos objetos eletrificados (MEDEIROS, 2002). Além do mais não havia uma conexão direta entre estes tipos de atração, haja vista, que a atração produzida pela pedra-ímã afeta particularmente materiais metálicos, como o ferro, enquanto a elétrica se fazia presente em vários materiais, por outro lado era bastante inerte se comparada com a magnética (BERNAL, 1975).

Na época em que Gilbert apresentou suas teorizações sobre o magnetismo, emergia a revolução científica. Nesta, a experimentação penetrava o domínio da investigação. Gilbert, por exemplo, construiu um instrumento visando identificar a eletrização dos corpos. Este instrumento, nomeado *versorium*, consistia de um pivô vertical, no qual se encaixava uma agulha disposta horizontalmente, podendo girar neste plano (MEDEIROS, 2002).

Imagem 3 - Versorium de Gilbert. (In: ASSIS, 2010, p. 38)



⁷ Emanações emitidas pelos corpos eletrizados.

2.2 O Desenvolvimento da eletricidade enfatizando os séculos XVII e XVIII

Até o início do século XVII, poucos estudos acerca da eletricidade e do magnetismo haviam sido desenvolvidos. Uma das evidências que confirmam esta “improdutividade”, refere-se à distinção entre fenômenos elétricos (eletrostáticos) e magnéticos (magnetostáticos) que só veio a ocorrer em 1550, pelo matemático italiano Girolamo Cardano (1501-1576), no seu trabalho intitulado *On subtlety*. Neste, registrou algumas das diferenças fundamentais entre as propriedades do âmbar e as do ímã (ROCHA; RIBEIRO FILHO, 1999).

Embora o efeito da atração elétrica tivesse sido observado desde a antiguidade, os relatos acerca da repulsão datam do século XVII. Apesar de ter sido observada em várias experiências, era considerada como um efeito aparente, decorrente de um fluxo de ar próximo, ou devido à atração de corpos vizinhos (ASSIS, 2010).

Rocha e Ribeiro Filho (1999) lembram que o fenômeno da repulsão foi mencionado por Niccolo Cabeo (1596 - 1650) e Otto Von Guericke (1602 - 1686), porém, Charles François de Cisternay Du Fay (1698 - 1739) é quem descreve detalhadamente a repulsão elétrica. Fundamentando-se em evidências experimentais, Du Fay reconhece-a como um fenômeno autêntico de interação elétrica, explicitando 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 [corpos leves colocados perto deles, como uma penugem ou uma pequena folha de ouro], mas também a virtude de repelir os corpos que eles atraíram (p. 457)”.

Outro efeito importante da eletrostática, as *ações elétricas mútuas*, só foi relatado na segunda metade do século XVII, nos trabalhos de Honoré Fabri (1607 - 1688) e Robert Boyle (1627 - 1691). Vale salientar que Gilbert admitia a ideia de ação mútua entre dois ímãs ou um ímã e um pedaço de ferro (*copulação*), assim como Girolamo Cardano e Niccolo Cabeo, mas, desconsiderava que existisse ação elétrica mútua entre o âmbar e outro material. Sabe-se atualmente que a ação elétrica assim como a magnética também é mútua, e denomina-se *interação elétrica*, ou seja, a força resultante que um corpo exerce sobre outro, fazendo com que um se desloque em relação ao outro de acordo com um referencial (ASSIS, 2010).

Vários outros instrumentos visando à detecção (eletroscópios), a quantificação (eletrômetros) e produção de efeitos elétricos (máquinas eletrostáticas) foram desenvolvidos, aperfeiçoados e bastante intensificados a partir das décadas iniciais do século XVII (MEDEIROS, 2002).

Ainda no contexto dos estudos dos fenômenos elétricos do século XVII, Guericke desenvolveu uma maneira inovadora de eletrizar os corpos, utilizando uma espécie de máquina de eletrização denominada de *máquina eletrostática*, consistia basicamente de uma esfera de enxofre, acoplada a dois suportes, ao longo de um eixo central que permitia o giro da esfera. Os corpos eram eletrizados por atrito ao contatarem a esfera em movimento, que depois de certo tempo eram repelidos pela mesma. Esta máquina foi bastante aperfeiçoada ao longo do século XVIII e pode ser considerada como a primeira máquina elétrica da história (MEDEIROS, 2002).

Imagem 4 - Réplica da máquina eletrostática desenvolvida por Guericke. Disponível em: <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/oden1.jpg>. Acesso em 15/01/2013.



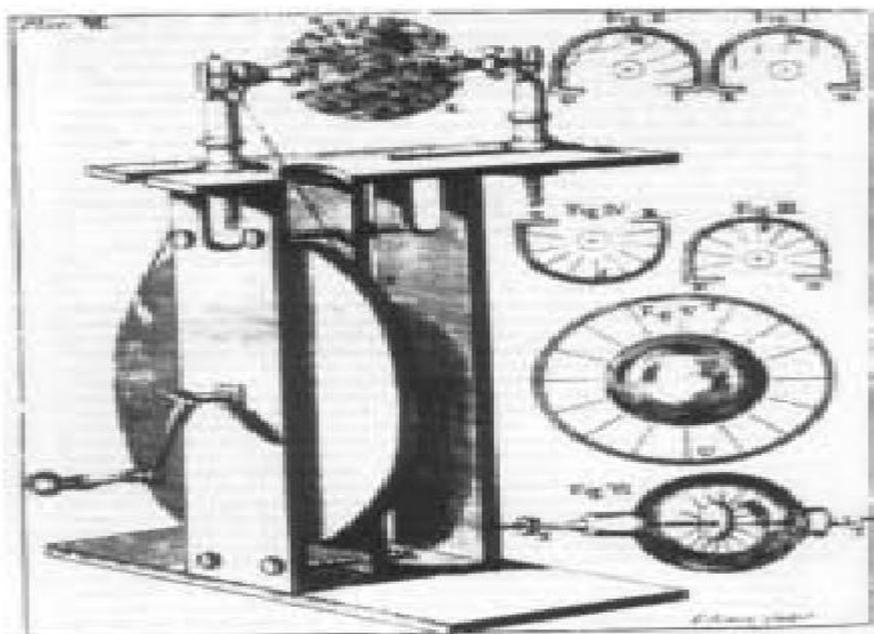
Por outro lado, Assis (2010) afirma que o próprio Guericke não considerava que os efeitos repulsivos e atrativos produzidos pela máquina tivessem natureza elétrica, em vez disso ele supôs que estes efeitos eram semelhantes às virtudes que a terra possuía, em outras palavras, uma pluma que flutua sobre a superfície terrestre e depois cai, era análogo ao efeito produzido pela máquina.

Entre os séculos XVII e XVIII, desenvolveu-se uma corrente de pensamento que concebia a eletricidade como um fluido, podendo inclusive ser armazenado semelhantemente aos demais fluidos conhecidos. Além do mais, nessa época a ideia de considerar a eletricidade como um fluido era decorrente da tentativa de

linearização dos fenômenos físicos a uma tendência cuja explicação dever-se-ia a mecânica newtoniana.

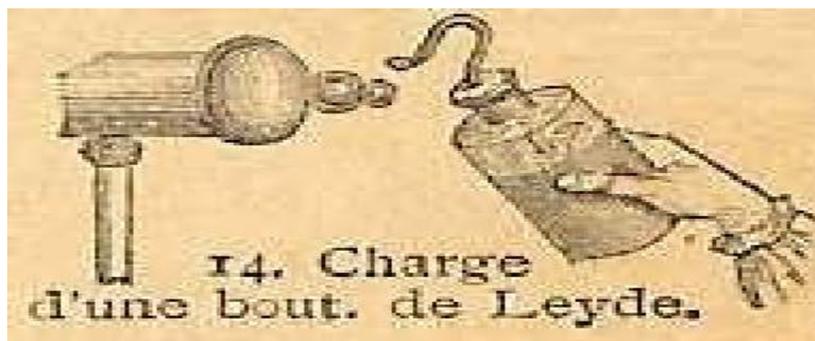
Com o propósito de armazenarem o fluido elétrico, Pieter van Musschenbroek construiu um recipiente de vidro comum, tampado com uma rolha de cortiça e com paredes internas e externas revestidas por uma fina folha de prata, cheia até a metade com água e um condutor metálico centralizado em seu interior, sendo carregada inicialmente pela *máquina de Hauksbee*.

Imagem 5 – Máquina de Hauksbee. (In: MEDEIROS, 2002, p.355).



Este recipiente foi posteriormente denominado *garrafa de Leyden*, e Benjamin Franklin foi o responsável pela explicação de seu funcionamento (BERNAL, 1975). Além do mais, este experimento pode ser considerado como o precursor do dispositivo eletrônico conhecido como *capacitor* (ROCHA e RIBEIRO FILHO, 1999).

Imagem 6. Garrafa de Leyden sendo carregada em uma máquina eletrostática de Ramsden. Fonte: LAMARE, 1945. p.225.



Em meados do século XVIII, Stephen Gray (1666 - 1736) aderindo à ideia de Francis Hauksbee (1666 - 1713) em identificar a eletricidade de corpos através de linhas de seda ou algodão, utilizou um tipo de eletroscópio formado por um par de linhas de seda próximas a um globo de vidro eletrizado. Assim, conseguiu aferir a intensidade da eletrização produzida no globo através da divergência entre as linhas, causada pela repulsão elétrica entre as mesmas. Atualmente estas deflexões são interpretadas como sendo devidas ao potencial elétrico (MEDEIROS, 2002).

Ainda no século XVIII, Gray utilizou outros experimentos baseados no princípio de tocar corpos eletrizados com outros bastante extensos, e observar através de uma *linha pendular*⁸, as condições em que a *virtude elétrica* ou *eletricidade* era conduzida ou não ao longo da extensão deste. Tais experimentos possibilitaram, posteriormente, a construção do conceito de *condução elétrica*. Concebendo a eletricidade como um fluído, Gray adotou uma nova designação para os corpos que conduziam e os que não conduziam a eletricidade, rejeitando a ideia antiga corpos elétrico e não elétricos propostos por Gilbert, passariam agora a serem denominados de *isolantes* e *condutores* respectivamente (MEDEIROS, 2002).

Por volta de 1733, Du Fay reproduzindo experiências de Gray, Guericke e Hauksbee, chegou à conclusão inesperada de que havia dois tipos de fluidos elétricos distintos. Um obtido através da fricção de materiais com um cristal e o outro quando se friccionava os materiais com um pedaço de resina. Categorizou os fluidos de eletricidade vítrea e resinosa, respectivamente. Além disto, eram antagônicas, ou seja, os corpos atraíam-se quando eletrizados com fluidos opostos (vítrea - resinosa) e repeliam-se quando eletrizados com fluido de mesma natureza (BERNAL, 1975).

A ideia da existência de dois tipos de fluidos elétricos foi questionada por Benjamin Franklin (1706 - 1790), que adotou o modelo de um fluido único. Ou seja, o corpo carregado poderia estar com falta ou excesso desse fluido, e que a matéria em seu estado natural é neutra, evidenciando a ideia de conservação da “carga” (BERNAL, op. cit.).

Essa controvérsia só seria resolvida, com a descoberta do elétron já no século XIX, pelo Físico inglês J. J. Thomson (1856 - 1940). Entretanto, não admitido

⁸ A linha pendular de Gray era apenas uma linha vertical feita de algodão ou linho, presa na sua parte superior a um suporte, com a parte inferior da linha livre para se deslocar para qualquer lado.

à ideia de eletricidade como um fluido e sim, que um corpo está eletrizado devido à falta ou excesso de elétrons (ROCHA; RIBEIRO FILHO, 1999).

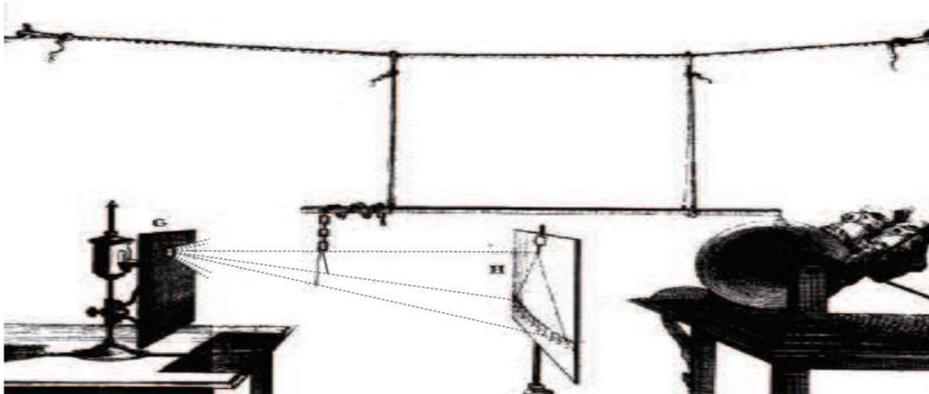
Outra contribuição importante no estudo da eletricidade que faz menção a Franklin, refere-se ao famoso experimento do papagaio, por meio do qual ele conclui que a descarga elétrica proveniente de uma nuvem é de mesma natureza que uma descarga elétrica produzida em seu laboratório pelo descarregamento de uma garrafa de Leiden. Posteriormente realizou um experimento ousado, carregando uma garrafa de Leiden com uma descarga elétrica proveniente de um raio. Posteriormente realizou a mesma experiência em São Petersburgo, e não teve a mesma sorte da primeira experiência, acabou falecendo devido à descarga elétrica, porém antes de morrer, adotou esta ideia para o uso prático na construção dos para-raios, e este legado é bastante utilizado até os dias de hoje (BERNAL, 1975).

Até então, eram poucos os instrumentos ou técnicas que aferissem quantitativamente a eletricidade (eletrômetros), os quais somente começam a surgir por volta de meados do século XVIII. Os primeiros instrumentos utilizados para aferir a eletricidade consistiam basicamente de um eletroscópio, cujos resultados quantitativos eram apresentados por escalas inseridas nos mesmos, ou através de medidas geométricas (MEDEIROS, 2002).

O desenvolvimento de instrumentos eletrostáticos como máquinas, eletroscópios e eletrômetros, obteve grande êxito durante o século XVII. Em contraste com a dificuldade de padronizar as técnicas utilizadas e as medidas obtidas, destacando-se como principal dificuldade, o desconhecimento dos fatores que em sua totalidade ocasionavam o fenômeno observado nos instrumentos, ou seja, alguns conceitos físicos ainda não haviam sido identificados e o aperfeiçoamento destes instrumentos foi elemento essencial para o desenvolvimento teórico de conceitos eletrostáticos (HACKMANN apud MEDEIROS, 2002).

Na perspectiva de obter medidas quantitativas de eletricidade, por volta de 1747, Jean Antoine Nollet (1700 - 1770) aperfeiçoou o experimento de detecção elétrica utilizando linhas, proposto por Gray. Neste novo experimento os fios eram eletrizados, e a deflexão era obtida por meio de um sistema óptico que projetava a sombra dos mesmos numa tela graduada, permitindo uma maior precisão na medida de um ângulo α defletido. Este instrumento foi nomeado por Nollet, *eletrômetro* (ASSIS, 2010).

Imagem 7 - *Eletrômetro de Nollet* (In: ASSIS, 2010, p. 173).



Por outro lado, Giovanni Beccaria interpretou a deflexão dos fios observando não apenas o ângulo α , mas considerou que a força elétrica deveria ser representada por uma medida do seno deste ângulo, aproximando-se da ideia de decomposição das componentes da força elétrica. Desta forma a ideia de trabalho da força elétrica e energia potencial elétrica, que só foram estabelecidas no século XIX, começam a se aclarar através destes experimentos (HARMAN apud MEDEIROS, 2002).

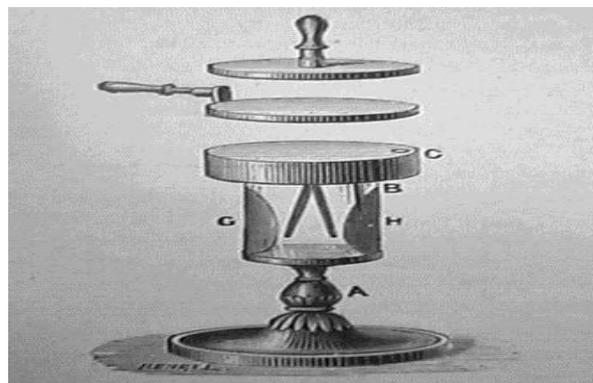
Os aperfeiçoamentos dos experimentos eletrostáticos como o eletroscópio e eletrômetro proporcionaram à Canton investigar o fenômeno da indução elétrica, constatando que ao aproximar um corpo eletrizado de um condutor neutro, no lado onde estava o condutor apareceria um excesso ou falta de fluido elétrico, dependendo de como o corpo estava eletrizado, além do mais, favoreceram a invenção de dois importantes instrumentos de medidas elétricas, o “*eletroscópio de folha de ouro*” e o “*duplicador elétrico*” ambos inventados por Bennet. O primeiro realizava medidas amplamente sensíveis de eletricidade e o segundo, aumentava por indução a quantidade de carga presente no corpo (MEDEIROS, 2002).

Ainda na primeira metade do século XVIII, Jean Baptiste Leroy (1720 -1800) e Patrick D’Arcy (1725 - 1778) construíram um instrumento que lhes permitiram fazer medidas da força elétrica. Este era formado por um flutuador e uma haste imersos na água, cima de um prato, ao aproximar-se do sistema outro prato eletrizado, produzia-se uma indução elétrica, fazendo o primeiro prato emergir. Colocando pesos sobre este último, possibilitava-se ter uma medida da força elétrica.

Imagem 8 - *Eletroscópios de folha de ouro*. (In: MEDEIROS, 2002, p. 359).



Imagem 9. Duplicador elétrico. Disponível em: <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/lebennet.jg>. Acesso em 16/01/2013



Já na segunda metade do século XVIII, especificamente em 1760, este aparato foi utilizado por Daniel Bernoulli com a finalidade de determinar quantitativamente a relação da força com distância entre os pratos e conseguiu obter uma relação matemática, que não alcançou muito êxito.

Por volta de 1767, Franklin relatou a Joseph Priestley (1773 - 1806) que em um de seus experimentos, observara que um recipiente metálico isolado não apresentava fluido elétrico em seu interior. Priestley por sua vez sabia dos resultados da mecânica newtoniana, que a força gravitacional devido a uma massa em formato de uma casca esférica era nula em seu interior, e por analogia com os aspectos gravitacionais, conjecturou que a força elétrica também obedeceria à lei do inverso do quadrado da distância (ROCHA e RIBEIRO FILHO, 1999).

Como mencionado anteriormente, vários instrumentos cuja finalidade era detectar a força elétrica foram construídos. Porém, a ideia de construir um instrumento contendo uma escala de quantificação da força elétrica foi originalmente de Charles Augustin Coulomb (1738 - 1806). Na década de 80 do século XVIII, Coulomb planejou e construiu a *balança elétrica*, cujos resultados possibilitaram-lhe quantificar a força elétrica atuando entre dois corpos eletrizados. O detalhamento das atividades de Coulomb encontra-se em capítulo específico.

CAPÍTULO 3

ANÁLISES E COMENTÁRIOS DE FRAGMENTOS DAS MEMÓRIAS DE COULOMB SOBRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO

No presente capítulo, procedemos com uma análise da obra original de Coulomb que contém o relato de seus trabalhos, denominados de *Memórias*, escritas pelo mesmo entre 1784 e 1789. Exploraremos principalmente a primeira Memória. Estas Memórias foram apresentadas à *Academia de Ciências da França* e publicadas apenas em 1884, pela *Sociedade Francesa de Física*. Mencionam os estudos de Coulomb voltados para a física. Nas *Memórias* encontram-se os relatos que descrevem a lei das torções em fios metálicos; as Memórias relativas aos estudos da eletricidade e do magnetismo que acarretaram a formulação da lei de Coulomb que se adequa tanto para fenômenos elétricos quanto para os magnéticos, além de outras pesquisas.

A *Primeira Memória* foi apresentada à *Academia de Ciências da França* em 1785, e relata de forma detalhada as experiências realizadas por Coulomb utilizando uma balança que media com precisão a relação entre intensidade da força de repulsão de duas esferas eletrizadas e a distância entre as mesmas.

Para a análise da mencionada *Memória* foi imprescindível consultar-se a obra original de Coulomb, em língua francesa. Esta obra foi obtida através da Biblioteca Numérica Gallica, pertencente ao acervo da Biblioteca Nacional Francesa (BnF)⁹.

Este capítulo está organizado em sete seções:

A seção 3.1 inicia-se com um texto introdutório extraído de Martínez (2006) que situa algumas hipóteses iniciais sobre a formulação da lei fundamental da eletrostática e sua “comprovação” através dos estudos de Coulomb;

Na seção 3.2 apresenta-se uma pequena biografia do próprio Coulomb que foi traduzida e inserida neste trabalho, e se encontra nas páginas VII-XIII da obra que contém os relatos dos trabalhos do mesmo;

A seção 3.3 explicita uma tradução para a língua portuguesa, realizada pelos autores deste trabalho, acerca da *Primeira Memória*;

⁹ A Biblioteca Nacional Francesa dispõem de um Acervo online que pode ser pesquisado através do site: <http://www.bnf.fr/fr/acc/x.accueil.html>.

A seção 3.4 encerra o capítulo com alguns comentários obtidos de (MARTÍNEZ, 2006, p. 517, 521-523), acerca dos resultados das experiências relatados na *Primeira Memória*.

A primeira Memória por sua vez divide-se em quatro subseções:

A seção 3.3.1 traz todo um detalhamento do processo de construção e dos materiais constituinte da balança elétrica;

A seção 3.3.2 explicita o enunciado da relação da força elétrica entre duas esferas carregadas, com a distância entre as mesmas, isto decorrente dos resultados alcançados por Coulomb através das experiências com a balança elétrica;

A seção 3.3.3 aborda os procedimentos operacionais realizados por Coulomb com a balança elétrica, além dos resultados propiciados pela mesma.

A seção 3.3.4 relata as explicações dos resultados observados que foram obtidos através de tal balança. Desta forma são discutidas quatro observações.

3.1 Conjecturas iniciais acerca da formulação da lei de Coulomb

Uma questão de longa data na história da ciência foi sem dúvida à lei fundamental da eletrostática, justificada experimentalmente no final do século XVIII. Nesta época, seguindo a mecânica de Isaac Newton, os físicos vieram a entender que a força gravitacional entre duas massas m_1 e m_2 pode ser expressa pela equação 1:

$$F_g \propto \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Equação 1: Relação da força gravitacional com as massas envolvidas e o quadrado da distância entre as mesmas.

Em que r é a distância entre os centros dos dois corpos. O sucesso desta lei do inverso do quadrado levou alguns cientistas a investigarem se outros fenômenos, tais como, o movimento dos corpos celestes também poderia ser descrito por uma equação do inverso do quadrado.

Em particular, Joseph Priestly e Henry Cavendish dentre outros, argumentaram que a repulsão e atração entre corpos carregados por eletricidade são igualmente descrito pela equação 2:

$$F_e \propto \frac{q_1 q_2}{d^2} \quad (2)$$

Equação 2. Relação da força elétrica com as cargas envolvidas e o quadrado da distância entre as mesmas.

Na equação 2, cada q representa a quantidade específica de carga elétrica em cada corpo, e d é a distância entre seus centros. A notável coincidência formal entre essas leis de força, suscita a pergunta: Estes cientistas encontraram provas substantivas para justificar que a lei da eletrostática assumia esse caráter, ou se pautaram apenas analogias com a lei da gravitação de Newton?

Em junho de 1785, Charles Augustin Coulomb (1736 - 1806), um engenheiro militar aposentado, anunciou para a *Academia de Ciências de Paris* que havia inventado um aparelho experimental inovador, “a balança de torção”. Tratava-se de um instrumento extremamente sensível capaz de medir até mesmo minutos de forças com um grau de precisão sem precedentes. Através desta balança, Coulomb alegou ter demonstrado que a repulsão eletrostática efetivamente varia inversamente com o quadrado da distância. Essa experiência, juntamente com outras em 1787, levaram os físicos da época a denominarem a Equação Fundamental da Eletrostática como “Lei de Coulomb” (MARTINEZ, 2010).

3.2. Charles Augustin de Coulomb: breve biografia¹⁰

Charles Augustin de Coulomb nasceu em 14 de junho de 1736, em Angoulême, na França, numa família de magistrados. Mostrou desde a juventude um gosto decidido pelas Ciências Matemáticas. Entrou para o Corpo de Engenheiros Militar e foi enviado para a Martinica (departamento ultramarino insular francês) no Caribe, para fortalecer o poderio militar francês na ilha contra possíveis ataques ingleses, onde permaneceu por nove anos.

Sobre várias tarefas que teve que realizar como engenheiro, surgiu à oportunidade para trabalhar com questões relacionadas à Mecânica Aplicada em construções, dentre elas: problemas de fortificações em construções, flexão de vigas, ruptura de alvenaria, pressão da terra, a estabilidade de arcos, e muito mais.

¹⁰ O texto que descreve a biografia de Coulomb foi extraído da obra original [Collection de mémoires Relatifs a la Physic (introduction, pag. VII-X)], escrita em língua francesa. Tradução do autor.

Depois de anos de trabalho árduo e doenças graves, ele retornou à França em 1771 e voltou a trabalhar como engenheiro militar provincial, e cada vez mais se ocupando em escrever suas *Memórias* sobre física. O conjunto de suas *Memórias* lhe valeu o título de *Correspondente da Academia de Ciências da França*. Em 1779, compartilhou com Van Swinden o prêmio oferecido pela *Academia de Ciências da França*, sobre o projeto de agulhas magnéticas.

Em 1781, Coulomb ganhou outro prêmio, pago pela *Academia de Ciências da França*, pela teoria das máquinas simples. É nesta *Memória* que se encontram suas experiências clássicas sobre o atrito. Convidado a Paris, em 1781, foi nomeado Membro da Academia e ocupou-se ativamente em estudar as leis do magnetismo e da eletricidade. Durante o período de 1784-1789, ele escreveu suas *Memórias* fundamentais sobre as Leis da torção, as Leis de ação elétrica e magnética e distribuição de eletricidade (cargas elétricas) e magnetismo nos corpos.

Quando a Revolução Francesa teve início em 1789, Coulomb era *lieutenant-colonel du Génie, Intendant général des fontaines de France*, ocupando-se na administração de planos e *Reliefs*, e nestas circunstâncias pediu a demissão de seu emprego e abandonou os cargos que ocupava. Nesta época a *Academia de Ciências Francesa* fechou e ele foi expulso, onde ocupava o cargo de membro da comissão de pesos e medidas. Desta forma foi forçado a deixar Paris, passando a residir nas proximidades de Blois. Retornou a Paris na criação do *Institut de France*, e foi nomeado inspetor geral de estudos.

Na época, a saúde de Coulomb estava comprometida, vindo a falecer em 23 de outubro de 1806. *Delambre* (1749-1822) após pronunciar seu elogio em 1807, anunciou que as obras de Coulomb seriam publicadas e que havia encontrado em seus escritos, uma nota que indica a ordem em que as diferentes *Memórias* deveriam ser organizadas.

Com relação ao magnetismo, Coulomb desenvolveu a lei da ação e repulsão. Para a eletricidade, ele não só estabeleceu essas leis, mas descobriu que a superfície interior de um condutor eletrificado não é eletricamente carregada, e a densidade de carga em cada ponto do condutor é proporcional à força. Finalmente demonstrou a proporcionalidade para velocidade de resistência dos fluidos a partir da viscosidade ou atrito interno, e descobriu também as leis da elasticidade da torção. Portanto, não podemos negar a autoria de suas *Memórias Fundamentais*.

Especialmente para a eletricidade, muitas vezes pensa-se que os trabalhos de Coulomb resumem-se a descoberta das leis de atração, quando na verdade foram várias outras. Atribui-se, por exemplo, a Jean-Baptiste Biot (1774 - 1862) a experiência que consiste em descarregar completamente uma esfera metálica, aprisionada no interior de um condutor formado de dois hemisférios móveis. Porém esta experiência está descrita na quinta *Memória* de Coulomb (1788).

Outro trabalho da autoria de Coulomb, mas que passou despercebido é uma *Memória* que trata da estática das abóbadas. Esta contém pesquisas que discutem maneiras de executar sob a água todos os tipos de obras hidráulicas, sem necessário muito esforço; além da sua teoria das máquinas simples e as pesquisa sobre os moinhos de vento.

As estimativas dos valores encontrados por Coulomb em seus trabalhos e relatados nas *Memórias* anteriores a 1789 são dadas no antigo sistema de medidas, e a relação estabelecida com os valores em unidades do sistema (C.G.S.) para os elementos que ele utilizou. Ou seja, o comprimento expresso em centímetros, a massa em gramas e as forças em dinas, podem ser observadas no quadro I. As Pesquisas de Coulomb em eletrostática surgiram a partir de seus estudos sobre a torção de fios, um campo que mal tinha sido incorporado os experimentos de eletricitistas da época.

Quadro I. Unidades de medidas do sistema antigo relacionadas com o sistema C.G.S.

Unidades de comprimento	1 toise = 6 pieds (pés) = 72 pouces (polegadas) = 864 lignes (linhas) = 194,9 centímetros
Unidades de massa	1 livre = 16 onces = 9216 grains (grãos) = 489,5 gramas
Unidades de força	1 livre = 16 onces = 9216 grains (grãos) = 480200 dinas

¹¹Em 1777, Coulomb desenvolveu uma teoria de torção de fios de seda e cabelo finos para uso na suspensão de agulhas magnéticas, com base em seu extenso trabalho experimental na confecção de bússolas magnéticas.

Posteriormente, ele analisou o comportamento das torções em fios finos. Por volta de 1784, Coulomb concluiu que a força exercida por qualquer fio torcido contra a sua torção (isto é, o torque de reação, ou "impulso da força de torção") utilizando

¹¹ Texto extraído de Martínez (2006), p. 519, e traduzido pelo autor deste trabalho. A tradução encontra-se nas p. 40- 41 deste trabalho, a partir do quarto parágrafo da p. 40.

uma balança de torção, ilustrada na imagem 10, ele chegou à conclusão de que a força de torção num fio é descrita pela equação abaixo:

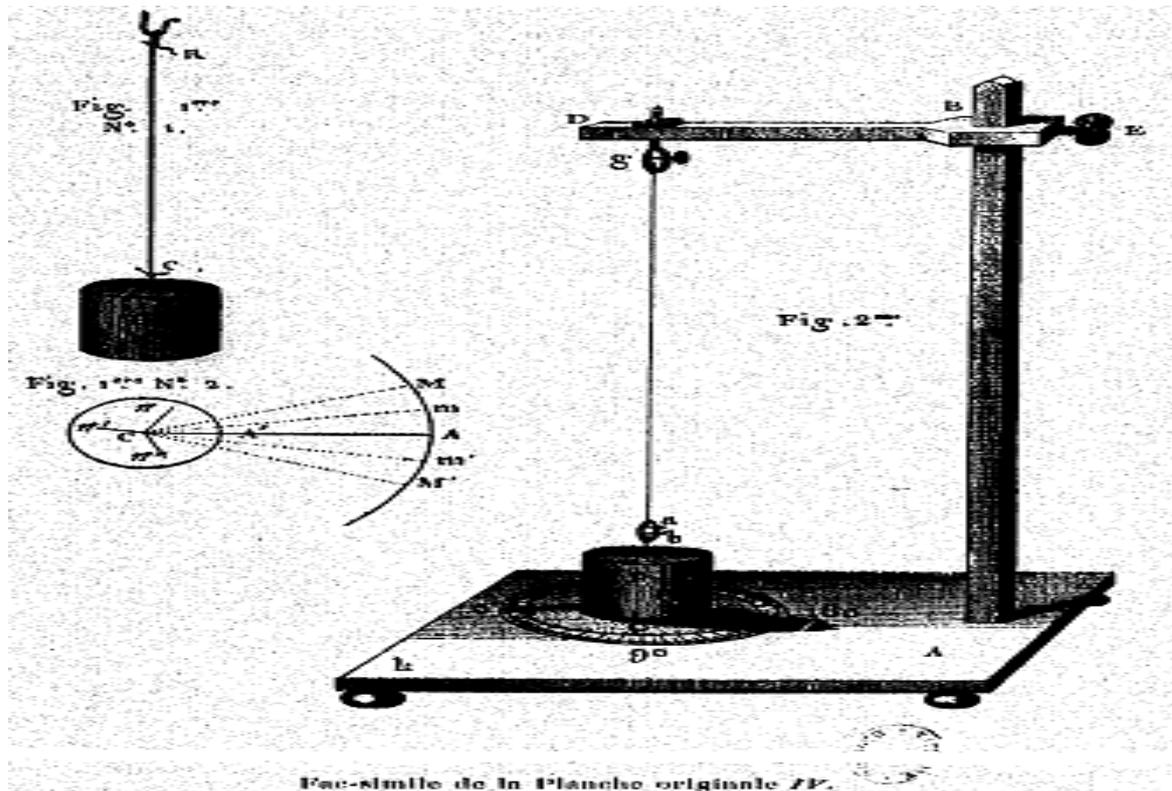
$$F_{\tau} = w \frac{\alpha D^4}{l} \quad (3)$$

Equação 3 - Força de torção num fio.

Em que l é o comprimento do fio, D seu respectivo diâmetro α o ângulo de torção e w é uma constante característica que depende da natureza do material.

Sabendo que o torque é proporcional ao ângulo de torção, Coulomb percebeu que poderia usar fios torcidos para neutralizar e, portanto, medir determinadas forças (seja ela mecânica, magnética, etc) atuando de forma sensata para torcer o fio. Uma vez que o fio poderia ser fabricado para ter um diâmetro muito pequeno (e comprimento considerável), sua lei de torção sugeriu que poderia usar fios muito finos para medir forças extremamente fracas. Coulomb então desenvolveu um procedimento para medir a força de repulsão elétrica, mostrando o quanto um objeto eletricamente carregado repele-se de outro situado na extremidade do braço de alavanca suspenso por um fio.

Imagem 10- Balança de torção utilizada por Coulomb para determinar a natureza da força de torção em fios.



3.3 MEMÓRIAS SOBRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO

Primeira Memória

(1785)

Construção e uso de uma balança elétrica fundamentada sobre a propriedade característica dos fios de metais de possuírem uma força de torção proporcional ao ângulo de torção.

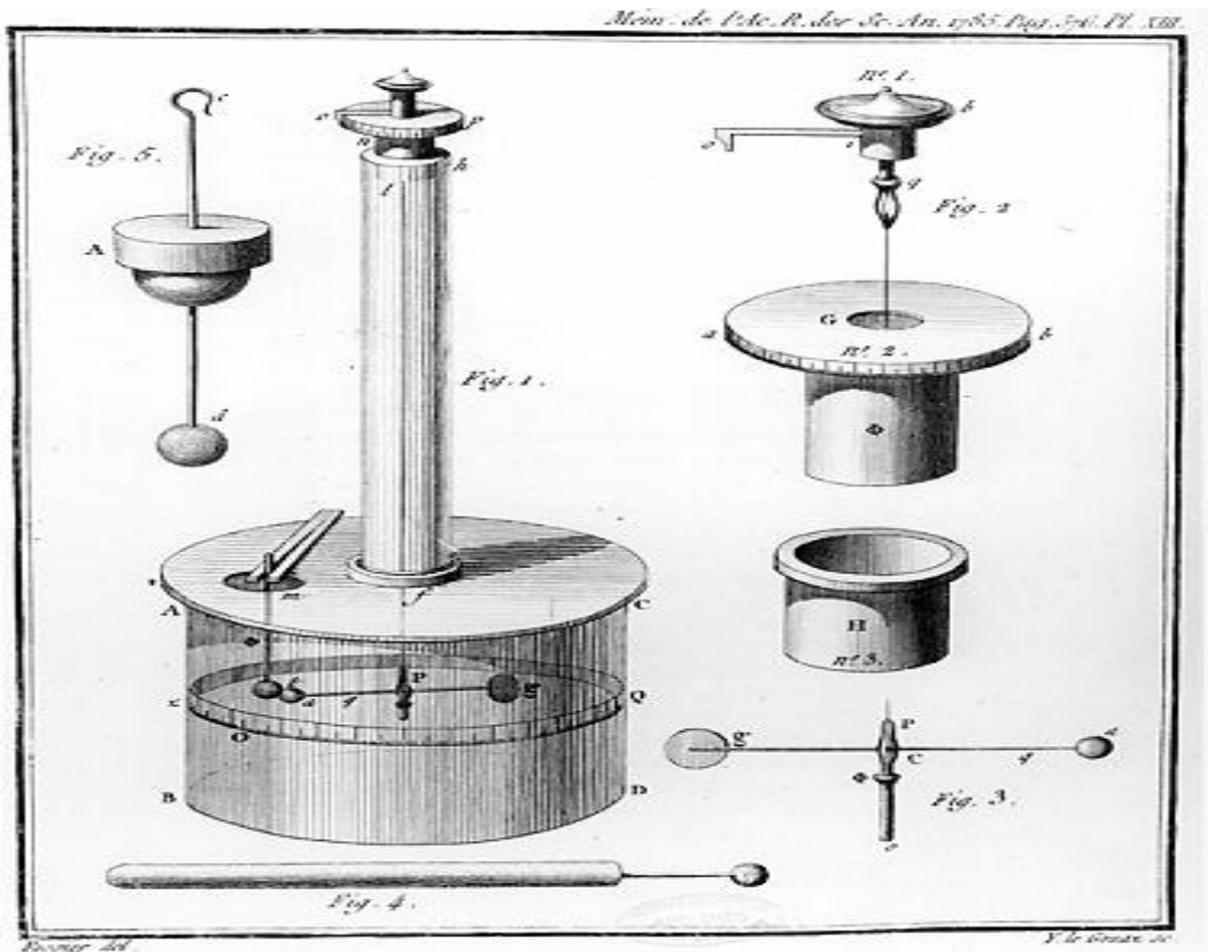
3.3.1. Construção da balança elétrica

Embora a prática tenha me ensinado que, para executar de maneira plausível, experiências elétricas deve-se corrigir qualquer deficiência na primeira balança do tipo que construí, no entanto, como esta foi à única que utilizei até agora, vou fazer uma descrição da mesma, ressaltando que sua forma e tamanho podem e devem variar de acordo com a natureza das experiências que se deseja realizar. A imagem 11 representa esta balança numa perspectiva detalhada.

Sobre um cilindro de vidro [ABCD] de 12 polegadas [32,48 cm] de diâmetro e 12 polegadas de altura coloca-se uma placa plana de vidro de 13 polegadas de diâmetro, que encobre toda a estrutura do cilindro. Esta placa tem dois orifícios de cerca de 20 linhas [$\approx 4,5$ cm] de diâmetro, um em seu centro, f, em que é colocado um tubo de vidro 24 polegadas de altura. Este tubo é fixado com um tipo de substância adesiva usada em aparelhos elétricos. Na extremidade superior do tubo, em h, é colocado um micrômetro de torção, mostrado detalhadamente na Fig 2. A parte superior deste micrômetro, n.º 1, tem um botão b; o ponteiro io; e uma pinça de suspensão q; que é introduzida no orifício G da peça n.º 2. A peça n.º 2 é composta de um círculo ab, dividido ao longo do seu perímetro em 360°, e um tubo de cobre Φ que se encaixa no orifício H da parte n.º 3, que é anexado ao topo do tubo de vidro fh, da Fig. 1. A pinça, Fig. 2, n.º 1, tem quase a forma de um lápis sólido, que pode ser apertado por meio do anel q. É nesta pinça que uma das extremidades de um fio muito fino é introduzida. A outra extremidade deste fio é anexada em P (Fig. 3) por uma pinça no pequeno cilindro Po. Este cilindro é feito de cobre ou de ferro e seu diâmetro é de apenas uma linha [$\approx 0,22$ cm], e a extremidade P possui fendas, formando uma pinça que é fechada por meio do deslizamento de um anel ϕ . O pequeno cilindro é saliente e perfurado em C, para a

introdução da agulha ag. O peso conjunto do cilindro deve ser de tal forma que ele pode manter o fio de prata esticado sem o arrebentar.

Imagem 11 - Balança elétrica de Coulomb, de 1785, e suas partes constituintes.



A agulha que se vê em ag (Fig.1) é suspensa horizontalmente, e localiza-se em torno da metade da altura do cilindro de vidro ABCD, esta mesma agulha consiste de um filamento de seda envolvido de cera espanhola, ou de uma palheta igualmente coberto de cera espanhola, cujo comprimento parte de q até a extremidade de a, correspondendo a 18 linhas [4,06 cm] de comprimento.

Por um filamento cilíndrico de goma-laca¹², a extremidade desta agulha está fixada a uma pequena bola de medula¹³, de duas a três linhas [0,45 a 0,68 cm] de

¹² Goma laca ou gomme-laque foi fabricada a partir da resina pegajosa secretada por várias espécies de insetos lac, encontrada principalmente em árvores soapberry e acácia, na Índia; é um polímero natural termoplástico semelhante ao plástico sintético. Da Índia, mercadores venezianos importavam lac adesivo sólido para Espanha e França, onde seu composto tornou-se conhecido como cera espanhola, embora não contenha cera, ela foi feita a partir de goma laca, adicionando pigmentos e resinas para torná-la menos quebradiça, e foi utilizado principalmente para selar cartas particulares. Prescrições de Coulomb sugerem que a goma-laca que ele usou foi melhor isolante do que a cera espanhola.

diâmetro, em g há um pequeno plano vertical de papel, imerso em terebintina¹⁴, que serve como contrapeso para a bola, e que amortece as oscilações. Dissemos que a tampa AC continha um segundo orifício em m ; onde se introduz uma pequena haste $m\phi t$, da qual a parte inferior ϕt é de goma laca; em t está uma bola também de medula. Em torno do cilindro ABCD, na altura da agulha, se traça um círculo ZQ dividido em 360° : para uma maior simplicidade usa-se uma tira de papel dividido em 360° , colada ao redor deste cilindro na altura da agulha.

Para começar a operar com este instrumento, fiz um pequeno ajuste, colocando a tampa de tal maneira que o orifício m corresponda à primeira divisão, ou o ponto O do círculo ZOQ, traçado sobre o vaso. Ajustei o índice io do micrômetro sobre o ponto o , isto corresponde a primeira divisão do próprio micrômetro. Em seguida, girei todo o micrômetro, em torno do tubo vertical fh , observando através do fio vertical que suspende a agulha e o centro da bola a , o momento em que agulha ag se posiciona na primeira divisão do círculo ZOQ. Introduzi em seguida, no orifício m , outra bola t suspensa na haste $m \emptyset t$, de maneira que a bola t toca a bola a , e observando o centro do fio de suspensão e a bola t , esta também se encontra na primeira divisão do círculo ZOQ. Nesse momento a balança está pronta para realizar todas as operações. Nós iremos apresentar por meio deste experimento a maneira de se determinar a lei fundamental da repulsão de corpos eletrizados.

3.3.2. Lei fundamental da eletricidade

A força repulsiva entre dois pequenos globos eletrizados com a mesma natureza elétrica (mesmo tipo de carga elétrica) está na razão inversa do quadrado da distância dos dois globos.

3.3.3 Procedimentos operacionais realizados com a balança elétrica e os resultados obtidos

Determinação experimental da lei, segundo a qual, corpos eletrizados com eletricidade de mesma natureza se repelem mutuamente.

¹³ Medula é o tecido esponjoso e leve dentro dos caules de plantas vasculares, que foi obtido comumente a partir de arbustos de sabugueiro do gênero *Sambucus*, ou de *chèvrefeuilles*.

¹⁴Líquido obtido da destilação de resina de coníferas.

*Eletrizando um pequeno condutor esférico acoplado á extremidade de uma pequena palheta de cera espanhola, ficando isolado (Fig.4), como se pode observar na imagem 11. Este condutor é introduzido no orifício **m**, de tal forma que deve tocar a bola **t**, que se encontra em contato com a bola **a**, removendo o condutor, as duas bolas são eletrizadas com uma eletricidade de mesma natureza, e se afastam mutuamente por uma distância que é medida por meio da observação do fio de suspensão e o posicionamento do centro da bola **a**, na divisão correspondente em graus do círculo ZOQ.*

*Em seguida, girando o índice do micrômetro no sentido **pno**, ele torce o fio de suspensão **IP**, produzindo uma força de torção no mesmo, proporcional ao ângulo de torção que tende a aproximar a bola **a** da bola **t**, verifica-se desta forma as distâncias referentes aos diferentes ângulos de torção, quando as bolas são aproximadas pela torção do fio, e comparando as forças de torção com as distâncias correspondentes das duas bolas, determina-se a lei da repulsão. Vou apresentar aqui apenas alguns testes que são fáceis de repetir, e imediatamente observa-se a lei de repulsão.*

Primeiro teste: eletrizado as duas bolas com o pequeno condutor (Fig. 4), o índice do micrômetro aponta para o ponto **o**, na escala do micrômetro, enquanto a bola **a** sobre a agulha se afasta da bola **t** por 36° .

Segundo teste: Torcendo o fio de prata suspenso, por meio do botão **o** do micrômetro para 126° , a bola **a** se aproxima da bola **t**, parando a 18° de distância da mesma.

Terceiro teste: Torcendo o fio suspenso por 567° , as duas esferas se aproximam uma da outra $8^{\circ}30'$.

3.3.4. Explicações dos resultados obtidos por Coulomb

*Quando as bolas não estão eletrizadas as mesmas se tocam, o centro da bola **a** suspende a agulha, não sendo distante do ponto onde a torção do fio de suspensão é nula, na metade do diâmetro das bolas. Deve-se salientar que o comprimento do fio de prata **IP**, que experimenta a torção possui 28 polegadas de comprimento (75,80 cm). Este fio é bastante fino, cujo diâmetro não passa de 1/10 de grão (0,01 grãos/m). Em relação ao cálculo da força para torcer o fio, em torno do ponto **a** na escala do micrômetro, distante de 4 polegadas (10,83 cm) do fio **IP**, ou do centro de suspensão. Encontrei através de fórmulas explicativas na Memória sobre*

as leis da força de torção dos fios de metal, impressas no Volume da Academia Francesa em 1784, que torcendo o fio 360° , em torno do centro da bola **a**, atua no braço de alavanca aP , de 4 polegadas (10,83 cm) de comprimento, uma força de $1/310$ de grão (0,153 dinas): assim o comportamento das forças de torções está comprovado nesta Memória, além dos ângulos de torções, e a menor força de repulsão entre as duas bolas sensivelmente distantes uma da outra.

Podemos encontrar em nossa primeira experiência¹⁵, onde o ponteiro do micrômetro está no ponto **o**, que as bolas são separadas por 36° , que produz, ao mesmo tempo, uma força de torção de $36^\circ = 1/3100$ de grão (0,0156 dinas); na segunda observação, a distância das bolas é de 18° , uma vez que o micrômetro foi girado 126° , resulta que a uma distância de 18° , a força repulsiva é 144° : assim, na metade da primeira distância, a repulsão das bolas é quadruplicada. Na terceira observação tem-se o fio de suspensão torcido 567° e as duas esferas encontram-se afastadas não mais que $8,5^\circ$, e conseqüentemente a torção total sendo 576° , quadruplicada em relação à segunda experiência, e requer apenas metade de um grau a mais para que a distância entre as duas esferas na terceira experiência possa se reduzir a metade da distância da segunda experiência. Os resultados, a partir destas três experiências, mostram que a ação repulsiva que as duas bolas eletrificadas com o mesmo tipo de eletricidade exercem uma sobre a outra é uma ralação do inverso do quadrado da distância.

- **Primeira Observação**

Repetindo-se a experiência mencionada anteriormente utilizando um fio de prata tão fino quanto o anterior, observa-se que para um ângulo de 5° a força de torção é aproximadamente $1/24000$ de grão, por outro lado, além dos efeitos de perturbação do ar que devem ser evitados, e outras precauções que podem ser

¹⁵ A repulsão de duas bolas de acordo com a primeira experiência é igual a:

$$\frac{0,0153 \text{ dinas}}{\cos 18^\circ} = 0,016 \text{ dinas}$$

a uma distância de $10,83 \times 2 \sin 18^\circ = 6,67$ cm; a carga de cada uma das bolas é de $6,67 \times (0,016)^{1/2} = 0,84$ unidades absolutas (C.G.S).

tomadas, não podemos dizer a posição natural da agulha quando a torção é nula, pode-se apenas fazer uma estimativa aproximada de 2° ou 3° . Assim deve-se fazer um primeiro teste para comparar com os seguintes. Depois de eletrizar as duas bolas, deve-se torcer o fio de suspensão 30° a 40° , que as aproxima a uma distância suficientemente considerável, produzindo uma força de torção suficientemente considerável para que os 2° ou 3° de incerteza na primeira posição da agulha, quando a torção é zero, não produz nos resultados um erro considerável. Também deve ser observado que o fio de prata utilizado neste experimento é tão fino que ele quebra com a menor agitação, desta forma é mais conveniente usar em experiências desta natureza um fio de suspensão com o dobro do diâmetro do fio mencionado, embora a sua flexibilidade à torção seja 14-15 vezes menor do que a do primeiro.

Alguns cuidados devem ser tomados antes de fazer uso deste fio de prata como, por exemplo, mantê-lo por dois ou três dias estendido por um peso que é cerca da metade do que ele pode suportar sem arrebentar-se, ainda deve-se levar em conta que o último fio de prata, nunca deve ser torcido para além de 300° , pois após este prazo de torção, ele começa a endurecer e não responde mais aos resultados desejados.

- **Segunda Observação**

A eletricidade das duas bolas diminui um pouco durante o tempo de realização da experiência; comprovei com os testes feitos anteriormente com as bolas eletrizadas que, quando são repelidas umas das outras de 30° de distância, sobre um ângulo de torção de 50° , elas se aproximam de um grau em três minutos, mas eu que utilizei apenas dois minutos para fazer os três testes mencionados anteriormente, pode-se nestas experiências desprezar o erro decorrente da perda de eletricidade. Se desejarmos uma grande precisão, quando o ar está úmido e a eletricidade se perde rapidamente, deve-se através de um primeiro teste, determinar a lei da diminuição da ação elétrica de duas bolas para cada minuto, e então usar esta primeiro teste para corrigir os resultados das experiências feitas a posteriori.

- **Terceira Observação**

A distância de duas bolas, quando elas estão separadas uma das outra pela ação repulsiva recíproca, não é precisamente medida pelo ângulo entre elas, mas pela “corda” de arco que une seus centros, da mesma forma que a alavanca na extremidade da qual se exerce a ação, não é medida pela metade do comprimento da agulha, ou pelo raio do movimento circular das bolas, mas, pelo cosseno da metade do ângulo formado pela distância entre as duas bolas. Estas duas quantidades respectivamente, uma das quais é menor que o arco, ao mesmo tempo em que a outra diminui a alavanca, podemos evitar erros sensíveis se mantivermos a avaliação que temos mantido, considerando que a distância das duas bolas fique em torno de 25° à 30°. Em outros casos, deve-se fazer um cálculo rigoroso.

- **Quarta Observação**

Como a experiência provou que, em um ambiente bem fechado, pode-se determinar com o primeiro fio de prata, com uma aproximação de 2° ou 3°, a posição da agulha, quando a torção é nula, que dá de acordo com o cálculo das forças de torções proporcionais aos ângulos de torções, uma força de no máximo 1/40000 de grão (0,0013 dinas), os menores graus de eletrizações são facilmente medidos com esta balança. Para essa operação, retomemos a (Fig. 5), através de uma rolha de cera espanhola é introduzido um pequeno fio de cobre (cd), cuja extremidade c, possui um gancho em forma de anzol e na extremidade (d) há uma bola de medula dourada, em seguida coloquei a rolha A, no orifício m da balança (fig.1), de modo que o centro da bola (d), observada no fio de suspensão, corresponda ao ponto O do círculo ZOQ; em seguida se aproxima um corpo eletrizado do gancho c, independente de quão fraca seja a eletricidade deste corpo, a bola (a) se separa da bola (d), dando sinais da presença de eletricidade, e a distância das duas bolas na medida da força segue o princípio da razão inversa do quadrado da distância.

Devo salientar que depois destas primeiras experiências, utilizei diferentes pequenos eletrômetros, de acordo com os mesmos princípios da força de torção, usando como fio de suspensão um fio de seda, ou um pelo de cabra d’angora¹⁶. Um

¹⁶ Espécie de cabra, originária da Turquia, caracterizada pela pelagem longa.

destes eletrômetros tem aproximadamente a mesma forma que a balança elétrica desta Memória, este eletrômetro é, entretanto muito pequeno, com 5 a 6 polegadas de diâmetro, com uma haste de 1 polegada (2,71 cm) de comprimento, a agulha é um pequeno fio de goma-laca de 12 linhas (2,71cm) de comprimento, cuja a extremidade **a**, contém um círculo de ouro muito leve. A agulha e o círculo pesam juntos cerca de (0,013) gramas; o fio de suspensão tem 4 polegadas de comprimento, e tem uma flexibilidade tal que age com um braço de alavanca de 1 polegada (2,71 cm), ele possui apenas uma torção de 1/60000 de grão (0,0009 dinas) para o círculo completo ou 360°. Está presente também neste eletrômetro o gancho C da Fig. 5, enquanto um bastão ordinário de cera espanhola, eletrizado por atrito a 3 pés (0,97m) de distância do gancho, produz na agulha um afastamento de mais de 90°.

Sob as condições em que Coulomb realizou a experiência, negligenciando a ação das cargas induzidas sobre o vidro do recipiente ABCD, que se encontra distante em torno de 0,04 m do centro das esferas, a influência da distribuição de eletricidade para a superfície das bolas é quase desprezível¹⁷.

3.4. Comentários dos resultados obtidos por Coulomb

Em algumas menções, Coulomb então afirmou que quando a distância entre as esferas eletrificadas é reduzida pela metade, a força de repulsão é quadruplicada e que tais relações revelam uma lei do inverso do quadrado. Seu argumento pode ser simplesmente posto algebricamente. Supondo-se que as esferas não perdem carga significativa durante um par de medições (e introduzindo explicitamente uma constante k de força elétrica), as sucessivas forças entre elas podem ser descritas como:

$$F_{\alpha} = k \frac{q_1 q_2}{(d_{\alpha})^2} \quad (4)$$

Equação 4 - Força elétrica entre duas cargas separadas por uma distância d_{α} .

$$F_{\beta} = k \frac{q_1 q_2}{(d_{\beta})^2} \quad (5)$$

Equação 5 - Força elétrica entre duas cargas separadas por uma distância d_{β} .

¹⁷ A ação repulsiva recíproca de duas esferas carregadas de quantidades iguais de eletricidade é, em efeito, $\frac{e^2}{c^2} \left(1 - 4 \frac{a^3}{c^3} \right)$, sendo **e** a constante de Euler, **a** o raio da trajetória descrita pelo movimento de uma das esferas, e **c** a distância dos seus centros, esta fórmula dá um resultado aproximado de 2/1000. Desde que a distância das esferas, seja igual ao raio da trajetória, nas experiências citadas por Coulomb, a/c é sempre inferior a 1/6.

A segunda separação entre os dois corpos sendo $d\beta = d\alpha / 2$, então temos $4F\alpha = F\beta$. Assim, o inverso- quadrado é uma propriedade destas forças, desta forma quando a distância entre os centros dos dois corpos é reduzida pela metade a força entre os corpos torna-se quatro vezes maior. Nesse sentido, Coulomb poderia torcer o micrômetro para ângulos adequados para testar este aumento específico em vigor.

Como a força de torção equilibra a força de repulsão, e presumindo que as cargas sobre as bolas não mudam, a sua separação angular inicial após o carregamento pode ser tomada para representar numericamente a repulsão adequada (Esta equivalência é aproximada porque depende da medida angular de separação, em vez da separação linear real entre os centros das bolas de medula). Para diminuir a separação pela metade, então teremos que torcer o fio quatro vezes tanto quanto esta torção inicial. No exemplo de Coulomb, a separação inicial de 36° sugere que teríamos de torcer o fio $36^\circ \times 4 = 144^\circ$, o que deve levar a separação entre as bolas até $36^\circ \div 2 = 18^\circ$. Sobre o aparelho, a torsão total no fio é:

Torsão total = separação angular + torsão no micrômetro

Mais uma vez, a torção total pode ser tomada como aproximadamente igual à força de repulsão. Para os números em questão, $144^\circ = 18^\circ +$ torção micrométrica, assim, para diminuir a separação de 36° para 18° graus, o micrômetro deve apontar para 126° .

Mas como Coulomb conseguiu esses números? Será que ele girou lentamente o micrômetro até obter a metade da separação entre as bolas a e f ? (Neste caso, a separação é a variável controlada, e a leitura do micrômetro consequente é o resultado). Ou, ele girou para 126° o ponteiro do micrômetro e, em seguida, observou que as bolas estacionaram, distanciando-se em 18 graus? (Neste caso a separação é resultado).

O Procedimento de Coulomb torna-se aparente na sua terceira observação, pois nesta, a separação é apenas $8,5^\circ$ não é exatamente metade dos 18° , enquanto que a torção sobre o micrômetro é 567° , que é precisamente $4 \times 144 - 18/2$. Na prática, para realizar medições da maneira que Coulomb as realizou, a primeira medição faz-se multiplicando a separação inicial observada α , qualquer que seja, por 3,5, que equivale a $(4\alpha - \alpha / 2 = 3.5\alpha)$, correspondendo a segunda posição, a qual se gira o micrômetro (por exemplo, $3,5 \times 36^\circ = 126^\circ$). A separação resultante deverá então ser $\alpha / 2$. Em seguida, multiplica-se a separação inicial por 15.75, que equivale

a ($4 \cdot 4\alpha - 1/2 \alpha/2 = 15.75\alpha$), correspondendo agora à terceira posição, a qual se gira o micrômetro, nesta circunstância a terceira separação deverá ser aproximadamente $\alpha/4$.

Os números apresentados por Coulomb combinam muito bem com a expectativa de que reduzindo a distância à metade, a força quadruplica¹⁸.

Coulomb não relatou o real valor do expoente n , da variação da força eletrostática $1/r^n$ com que decorre de seus resultados (MARTÍNEZ, 2006).

Por outro lado Heering (1992; 1994) replicou o experimento da balança elétrica de Coulomb, e o expoente $n = 2$ não foi obtido de imediato, este só veio a aparecer quando foi acoplada ao experimento uma *gaiola de Faraday*, para neutralizar a eletrização do experimentador (TEIXEIRA; KRAPAS, 2005).

Na concepção de Heering (1992, p.993), aparenta ser plausível que Coulomb tenha formulado a Lei do Inverso do Quadrado da Distância para a eletrostática, por considerações teóricas, especificamente por analogia com a Lei da Gravitação de Newton, que aparentemente se mostrou mais decisiva do que as medidas obtidas através da balança elétrica.

Outro indício da presença do paradigma gravitacional newtoniano nos trabalhos de Coulomb diz respeito à relação da proporcionalidade direta da força elétrica com a quantidade de *fluido elétrico* (cargas) excedente dos corpos, pois Coulomb nunca se deteve a provar tal proporcionalidade e jamais mencionou qualquer experimento que explicitasse a dependência da força com a quantidade de cargas presentes nos corpos que utilizou em seus experimentos (HAMMON apud TEIXEIRA; KRAPAS, 2005).

A maneira como Coulomb apresenta a lei fundamental do magnetismo assim como da eletricidade, sugere que não é necessário “formular qualquer prova referente à proporcionalidade com a densidade do fluido” (GILLMOR apud TEIXEIRA; KRAPAS, 2005), ou nas próprias palavras de Coulomb:

“O fluido magnético age por atração ou repulsão, segundo a razão direta da densidade do fluido e a razão inversa do quadrado das distâncias de suas moléculas. A primeira parte desta proposição não precisa ser provada” (COULOMB, 1885).

¹⁸ Martínez (2006), 521-522. Tradução do autor

CAPÍTULO 4

PROCEDIMENTOS E OPÇÕES METODOLÓGICAS

Este capítulo trata dos procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho e que se julga como mais adequados para se alcançar os propósitos pretendidos. Por sua vez encontra-se estruturado em duas seções:

A seção 4.1 menciona de início os elementos a serem analisados nos livros didáticos. Em seguida apresentamos algumas questões de pesquisas que norteiam as análises pretendidas; posteriormente são situados os referências que nos serviram de suporte teórico nas análises dos mencionado elementos que serão descritos adiante. Logo após procede-se com os critérios de seleção, sob os quais os livros didáticos analisados foram submetidos, os mesmos e seus respectivos autores encontram-se dispostos no quadro II. Por fim é especificado cada elemento a ser analisado respectivamente nos livros. Desta forma está definida a trajetória da pesquisa acerca dos objetos, das etapas e dos propósitos.

Na seção 4.2 é desenvolvida uma discussão acerca de algumas características que permeiam a pesquisa qualitativa, e também o estudo de caso, a fim de explicitar e justificar o caráter e natureza da pesquisa aqui desenvolvida.

4.1. O Perfil da Pesquisa

Acerca do intuito pretendido, a presente pesquisa visa investigar em livros didáticos de física de nível médio de ensino, como são feitas as abordagens de três temáticas referentes à lei de Coulomb: as representações imagéticas da balança elétrica, os aspectos histórico-conceituais da eletricidade ligados à mesma e os procedimentos utilizados por Coulomb na operação da balança elétrica. Nesta ótica serão utilizadas algumas questões de pesquisa que nortearão as análises propostas, as quais se situam logo a baixo:

- 1) Como os livros didáticos relacionam o desenvolvimento conceitual da eletrostática com o contexto histórico subjacente, que de certa forma favoreceu a formulação da Lei de Coulomb?

2) Será que os livros didáticos a serem analisados correlacionam a estrutura física da balança elétrica construída por Coulomb, e o mecanismo da mesma com a obtenção dos resultados alcançados?

3) Qual o grau de iconicidade presente nas representações imagéticas, acerca da balança elétrica nos livros didáticos, tomando como referência aquela representada na primeira Memória de Coulomb, mencionada neste trabalho como imagem 11?

4) Nos livros didáticos que abordam a balança elétrica de Coulomb, submetidos à análise, qual o nível de coerência entre o texto principal e as representações imagéticas a que se refere?

Os mencionados aspectos ligados a Lei de Coulomb, a serem analisados nos livros didáticos fundamentam-se através de um referencial histórico, que discute o desenvolvimento da eletricidade e do magnetismo até o século XVIII, período da construção, utilização da *balança elétrica* e a formulação da lei de Coulomb; um referencial que discute representações imagéticas; e o conjunto de Memórias que contém os trabalhos de Coulomb referentes aos seus estudos sobre eletricidade e magnetismo, em particular a construção e utilização da balança elétrica, cujos resultados alcançados através da mesma propiciaram a formulação da Lei de Coulomb.

Para esta pesquisa selecionou-se oito livros didáticos de física, utilizados no nível médio de ensino brasileiro e que abordam a Lei de Coulomb. Estes livros foram aprovados pelo Plano Nacional do Livro Didático e são utilizados pelas escolas. Além destes critérios, os livros também foram selecionados por pertencerem a edições recentes compreendidas entre 2010 e 2012. Esta se justifica pela tentativa de investigar se algumas abordagens inconvenientes sobre conteúdos de física, discutidas nas pesquisas citadas, anteriormente, sobre os livros didáticos também se fazem presentes na Lei de Coulomb, para os livros de física destas edições.

As referências dos livros selecionados encontram-se no quadro II. Por motivo de organização os livros serão denotados por A, B, C, D, E, F, G, H.

As análises dos aspectos dos mencionados livros serão divididas em quatro seções, especificadas a seguir:

- A primeira com a finalidade de investigar a possível relação que os livros didáticos fazem entre os aspectos históricos e o desenvolvimento conceitual da eletricidade ao discutirem a Lei de Coulomb.

- Na segunda seção, analisaremos os procedimentos realizados por Coulomb na construção da balança elétrica e as operações realizadas com a mesma.
- Na terceira seção, analisaremos as representações imagéticas segundo os aspectos da iconicidade referentes à balança elétrica.
- Na quarta seção, analisaremos a relação de coerência entre a abordagem textual e imagens representativas desta mesma balança apresentadas nos livros didáticos.

Quadro II. Referências dos livros analisados.

Autores	Livros Analisados
BRAZ, D. ; SANTOS, R.T.	Física. v. 3, São Paulo, SP: Escala educacional, 2010. (Livro A)
YAMAMOTO, K. ; FUKE, L.P.	Física Para o Ensino Médio, v.3, 2 ed. São Paulo, SP: Editora Saraiva 2011. (Livro B)
PIETROCOLA, M et al.	Física em contextos pessoal, social e histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria, v. 3. São Paulo, SP: Editora FTD. 2010. (Livro C)
RAMALHO Jr, F., FERRARO, N. G. e SOARES, P. A. T.	Os Fundamentos da Física. v. 3. São Paulo: Editora Moderna, 10 ed. 2010. (Livro D)
TORRES, C. M; FERRARO, N. G., SOARES, P. A. T.	Física. Ciência e Tecnologia, v. 3. Eletromagnetismo e Física Moderna, 2ª ed. São Paulo, SP: Editora Moderna, 2010. (Livro E)
GASPAR, A.	Compreendendo a Física. Eletromagnetismo e Física Moderna. Vol.3. São Paulo: Editora Ática, 2011. (Livro F)
FILHO, G. A.; TOSCANO, C.	Física e Realidade: Ensino Médio Física, Vol.3 São Paulo: editora Scipione, 2012. (Livro G)
MÁXIMO, A.; ALVAREGA, B.	Curso de Física, Vol. 3, São Paulo: Editora Scipione, 2012. (Livro H)

4.2 Características da pesquisa qualitativa e o estudo de caso

Segundo Ludwig (2003), a pesquisa qualitativa pode ser pensada como “*uma exposição e elucidação dos significados que as pessoas atribuem a determinados eventos e objetos, exemplo seria identificar e esclarecer o que os professores de uma escola pensam a respeito da avaliação institucional*”.

Oliveira (2009) discute que a base teórico-metodológica que fundamenta a pesquisa qualitativa é proveniente de uma linha investigativa denominada *interacionista*, enquanto que a pesquisa quantitativa é embasada na ótica do *positivismo*, diferenciam-se quanto ao tratamento dos dados.

A tendência interacionista que guia a pesquisa qualitativa parte do pressuposto de que o ser humano não é passivo, mas sim que interpreta o mundo em que vive continuamente. Enquanto que a postura *positivista* adotada pela pesquisa quantitativa defende que o “comportamento humano é resultado de forças, fatores, estruturas internas e externas que atuam sobre as pessoas, gerando determinados resultados”, neste sentido o comportamento humano poderia ser descrito por meio de variáveis que podem ser operacionalizadas e quantificadas (OLIVEIRA op. cit.).

De acordo com Bogdan e Biklen (1998), a investigação qualitativa possui cinco características, especificadas abaixo:

- Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural;
- A Investigação Qualitativa é Descritiva (analítica) – Os dados recolhidos são em forma de palavras ou imagens e não números;
- Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelos processos do que simplesmente pelos resultados ou produtos;
- Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva;
- O significado de “construídos através da indução é de importância vital na investigação qualitativa”.

Uma síntese das principais diferenças entre os procedimentos qualitativos e quantitativos está mencionada no quadro III.

Quadro III - Principais diferenças entre os procedimentos qualitativos e quantitativos.

Procedimentos Quantitativos	Procedimentos Qualitativos
Busca a extensão;	Busca a profundidade
Parte do objetivo;	Parte do subjetivo
Reflete o subjetivo;	Tenta atingir o objetivo
Amostra é ampla, calculada a <i>priori</i> , estratificada;	A amostra é pequena, obtida no campo, não casualizada, intencional.
Trabalha com dados, indicadores e tendências;	Trabalha com valores, crenças, opiniões, atitudes e representações
Descarta variáveis não representativas;	Todas as variáveis são importantes
Parte do particular para o todo	Parte do todo para o particular
Trabalha com hipótese ¹	Trabalha com pressuposto ¹

Flick (2004) argumenta que a abordagem qualitativa difere da quantitativa quanto à condução das ideias principais, haja vista que a abordagem qualitativa busca a escolha correta dos métodos e teorias oportunos; visa o reconhecimento e a análise em diferentes perspectivas; instigue o pesquisador a refletir a respeito da pesquisa como parte do processo de produção do conhecimento; valoriza a variedade de métodos e abordagens.

Outro fator importante na pesquisa qualitativa e essencial para o seu sucesso é a formulação da questão ou das questões de pesquisa, pois esta se faz presente não só na fase inicial da conceitualização do estudo, mas também em várias outras etapas da pesquisa. As questões de pesquisa nortearão a seleção e a coleta dos dados, o método empregado o material selecionado, além de influenciar a interpretação dos dados (FLICK, op. cit.).

Ainda nesse contexto, Flick (2004) alega que uma questão de pesquisa não deve ser elaborada do nada, ela deve partir do interesse prático do pesquisador no objeto específico que se deseja analisar, desta forma a autora assinala:

“A decisão sobre uma questão concreta de pesquisa está sempre ligada à redução da variedade, e assim, à estruturação do campo em estudo: certos aspectos ganham destaque, outros são considerados menos importantes, sendo (ao menos para o momento) deixados em segundo plano ou excluídos” (FLICK, 2004, p.65).

Em relação ao procedimento da análise dos conteúdos de uma pesquisa qualitativa, Flick (op. cit.) argumenta que Mayring (1983) desenvolveu um processo

de análise qualitativa do conteúdo, que corrobora com um modelo que expõe os procedimentos para a análise textual do conteúdo, este processo inclui respectivamente as seguintes etapas:

- Selecionar o material ou as partes relevantes que respondam as questões de pesquisa;
- Analisar a situação da análise dos dados (como foi produzido o material? Quem participou desta produção? De onde vêm os documentos que vão ser analisados? etc.).
- Caracterizar de maneira formal o material (como foi editado e documentado o material?)
- Direcionar a análise para os textos selecionados, ou seja, o que se espera interpretar destes textos?
- Definir com clareza a questão de pesquisa, que deve estar vinculada a uma teoria, e diferenciada de subquestões.

A principal característica das pesquisas qualitativas é o fato de que estas seguem a tradição compreensiva ou “interpretativa” (PATTON, 1986). Além do mais “o conhecimento elaborado durante a pesquisa qualitativa proporciona ao pesquisador produzir significados à medida que conduz seu estudo. Desenvolve habilidades qualitativas de ver, ouvir, ler e atribuir sentido às suas percepções” (ZANELLI, 2002).

Um tipo específico de pesquisa qualitativa denomina-se *estudo de caso*. De acordo com Lüdke e André apud Oliveira (2009) o estudo de caso é o tipo de investigação que deve ser utilizado quando o pesquisador deseja analisar uma situação singular, ou um fenômeno particular. Ressaltando que no estudo de caso o objeto deve ser bem delimitado, investigado de maneira aprofundada e com os “contornos claramente definidos”.

Ainda segundo Lüdke e André (1986, p. 18-20), (apud Oliveira, op. cit.) o estudo de caso possui algumas características bem peculiares, as mesmas encontram-se mencionadas logo abaixo:

- 1 - Os estudos de caso visam à descoberta.
- 2 - Os estudos de caso enfatizam a “interpretação em contexto”.
- 3 - Os estudos de caso buscam retratar a realidade de forma completa e profunda.
- 4 - Os estudos de caso usam uma variedade de fontes de informação.

5 - Os estudos de caso revelam experiência vicária e permitem generalizações naturalísticas.

6 - Estudos de caso procuram representar os diferentes, e às vezes conflitantes pontos de vista presentes numa situação social.

7 - Os relatos de estudo de caso utilizam uma linguagem e uma forma mais acessível do que os outros relatórios de pesquisa.

A categorização do processo de desenvolvimento de um estudo, conforme mencionam Lüdke e André apud Oliveira (2009), pauta-se em três fases: a exploratória, a delimitação do estudo e a coleta dos dados, a análise sistemática dos dados e a elaboração do relatório.

A primeira fase, exploratória, dedica-se a definir precisamente o objeto de estudo, a elaboração das questões pertinentes à pesquisa e selecionar as fontes de dados.

Posteriormente a fase exploratória, inicia-se a fase de delimitação do estudo e da coleta de dados, utilizando fontes variadas de informações e os instrumentos que julgar adequados para categorizar sua problemática.

A coleta de dados para este tipo de pesquisa destaca André apud Meireles et al (2010) pode ser feita por três métodos: através de perguntas, leitura de textos, observação de eventos.

O processo da coleta dos dados deve ser realizado por meio de técnicas e instrumentos que estejam vinculados aos propósitos que se deseja, neste sentido Martins apud Meireles et al (op. cit) explana:

O investigador deverá escolher uma técnica para coleta de dados necessários ao desenvolvimento e conclusões de sua pesquisa. Em um Estudo de Caso a coleta de dados ocorre após a definição clara e precisa do tema, enunciado das questões orientadoras, colocação das proposições – teoria preliminar -, levantamento do material que irá compor a plataforma do estudo, planejamento de toda a pesquisa incluindo detalhado protocolo, bem como as opções por técnicas de coleta de dados (MARTINS, 2008, p. 22).

Concluída a etapa de coleta dos dados, inicia-se a análise sistemática dos mesmos. Neste processo Meireles et al (op. cit.) argumenta que a análise deve “contribuir com a construção do conhecimento, articulando os aportes teóricos do estudo com os dados coletados e, até mesmo, com outras pesquisas correlacionadas que possibilitem superar a simples descrição”.

Por fim vem à estruturação e elaboração do relatório, este segundo Ludwing (2003) “deve ser conciso e conter, obrigatoriamente, a finalidade do estudo, a

metodologia empregada e as categorias escolhidas para o exame dos dados, as quais devem ser devidamente relacionadas com a teoria que as integram”.

O tratamento dos dados não deve ser feito de maneira causal, com plena confiabilidade nos instrumentos e na manipulação dos mesmos de acordo com Meireles et al (2010). Segundo os autores é necessário dispor de uma estratégia analítica geral, pois esta “ajudará a considerar as evidências de forma justa, produzir conclusões analíticas convincentes e eliminar interpretações alternativas, também, a usar ferramentas e manipulações de forma mais eficaz e eficiente”.

Yin (apud MEIRELES et al, 2010) menciona que existem três estratégias gerais que direcionam a análise das informações contidas num estudo de caso. A primeira diz respeito aos pressupostos teóricos que fundamentam a pesquisa, pois estes têm influencia nos objetivos, nas questões de pesquisa, na revisão de literatura e nos pressupostos que possam surgir. A segunda, contempla as explanações concorrentes, ou seja, é o tipo de estratégia analítica que busca definir e verificar abordagens que se mostram concorrentes. A terceira estratégia busca fazer uma organização da estrutura do caso estudado por meio de uma descrição. Esta estratégia deve ser utilizada quando o estudo se mostra problemático em relação às duas estratégias anteriores.

Por fim vale ressaltar que diversos fatores devem ser levados em conta na elaboração de um estudo, além do mais o sucesso e o grau de validade do mesmo vão depender da correlação destes fatores, desta forma Martins apud Meireles et al (2010) explicita:

[...] a confiabilidade de um Estudo de Caso poderá ser garantida pela utilização de várias fontes de evidencias, sendo que a significância dos achados terá mais qualidade ainda se as técnicas forem distintas. A convergência de resultados advindos de fontes distintas oferece um excelente grau de confiabilidade ao estudo, muito além de pesquisas orientadas por outras estratégias (MARTINS, 2008, p. 80).

Por se tratar de uma investigação de caráter descritiva, interpretamos que a presente pesquisa se trata de uma pesquisa qualitativa e pela especificidade dos parâmetros analisados, adéqua-se ao estudo de caso.

CAPÍTULO 5

DISCURSOS IMAGÉTICOS

O estudo das imagens abrange um campo de pesquisa bastante extenso, sendo por isso objeto de estudos de diversas áreas do conhecimento, por exemplo, a psicologia, as artes, a educação, a linguagem, etc. O objetivo deste capítulo é subsidiar a investigação das representações imagéticas da balança elétrica de Coulomb em livros didáticos de física.

Diante desta proposta, presente capítulo, por sua vez, se encontra dividido em três seções:

A seção 5.1 detém-se através de outras pesquisas fazer um apanhado das ideias relacionadas ao papel das imagens no ensino de ciências, como estas vêm sendo utilizadas e com que propósito nos livros didáticos. No decorrer desta seção são discutidas questões relacionadas às imagens, como: conceitos, classificação, benefícios para aprendizagem, funções, entre outras. De certa forma, isto contribuiu para a delimitação das questões ligadas à imagem balança elétrica a serem analisadas nos livros didáticos.

A seção 5.2 aborda a primeira questão delimitada a ser analisada nos livros didáticos com respeito às representações imagéticas da balança elétrica, tal questão refere-se ao grau de iconicidade que as imagens a serem analisadas apresentam, ou seja, o grau de semelhança entre o objeto e sua imagem. Tendo em vista que a *balança elétrica* é um instrumento bastante sofisticado e complexo, em termos de detalhes técnicos, estrutura física, e elementos constituintes, e, portanto uma representação superficial deste instrumento, em nada ajuda na compreensão, ou em certos casos acaba dificultando, quando não transmite informações distorcidas. Uma ideia mais ampla de iconicidade será discutida no decorrer desta seção.

A seção 5.3 trata da segunda questão delimitada, a coerência entre o texto principal e a representação imagética a que se refere. A escolha desta questão fundamenta-se no pressuposto de que além desta balança ser um aparato bastante complexo, demanda certas operações e procedimentos sofisticados, para ser observar os resultados relatados por Coulomb. Acredita-se, no entanto, que por mais icônica que seja a representação da balança elétrica de Coulomb, esta só será entendida em sua plenitude se estiver acompanhada de uma abordagem textual

complexa, que corrobore com os elementos descritos na imagem. Caso contrário, o leitor estará sujeito à incompreensão das informações ou mesmo um entendimento errôneo das mesmas.

5.1 O papel das Imagens no ensino e suas funções nos livros didáticos

A palavra imagem geralmente é interpretada como uma mera ilustração, porém, seu significado é muito mais abrangente e engloba diversos conceitos presentes em várias áreas do conhecimento que a tomam como objeto de estudo, tais como as artes plásticas, o designer, a psicologia e a educação (SEBATA et al, 2005).

Carneiro (1997) afirma que no âmbito educacional o conceito de imagens pode ser entendido como uma representação visual, real ou analógica de um ser, fenômeno, ou objeto que se encontra em oposição¹⁹ a um texto escrito.

De acordo com Peirce (apud MEDEIROS e MEDEIROS, 2002) a imagem pode ser classificada de acordo a sua função, neste caso, são designadas como *signos* quando substituem o objeto por uma representação do mesmo, em um ou mais aspectos. Quando o objetivo é estabelecer uma relação de semelhança entre o objeto e sua representação, denomina-se de *ícone*. Quando o propósito estabelecido é de causa e efeito, corresponde ao *índice*, e por fim, quando a relação é de arbitrariedade, tem-se o *símbolo*.

Segundo Klein e Laburú (2009) as imagens propiciam ao leitor a compreensão de códigos icônicos que explicitam as atividades científicas, suas conquistas, seus méritos e, por vezes, seus malefícios, além de situar os sujeitos e os lugares num contexto histórico. Particularmente no ensino de ciências, os autores destacam que as imagens desempenham um papel facilitador na explicação de conceitos e são importantes recursos para a comunicação das ideias científicas.

Na perspectiva do papel das imagens no âmbito científico, Piccinini et al (2005) argumenta que estas são importantes recursos no processo de mediação de ideias científicas, permitindo a visualização, e a inteligibilidade de diversos textos científicos, além de propiciar a constituição de ideias científicas e sua conceitualização.

¹⁹ O termo oposição utilizado pela autora não tem sentido antagônico e sim de localização, ou seja, a imagem é sempre posicionada num região oposta ao texto.

Acerca dos benefícios que as imagens podem propiciar à aprendizagem, Belmiro (2000) argumenta que a imagem como ilustração pode:

“quebrar o ritmo cansativo da leitura, sugerir leituras, apoiá-las do ponto de vista do enredo, construir formas, personagens, cenários, enfim, compor, junto com o texto verbal, um horizonte de leitura”.

Nas atribuições dos usos e das funções das imagens nos livros didáticos, Belmiro (op. cit.) afirma que as relações entre as ilustrações, a abordagem textual e o leitor não ocorrem de maneira simples e estão sempre se divergindo uma das outras, como também a relação de complementação para o entendimento da informação nem sempre é estabelecida. Ou seja, em certos casos a ilustração não é coerente com o texto, ou em nada lhe acrescenta, e em certos casos retira o sentido do texto.

Destacando a área educacional Duchastel e Waller (1979) (apud Sebata et al, 2005) mencionam que as imagens presentes em livros didáticos podem desempenhar várias funções na aprendizagem, sendo elas: atrativa, retentora e explicativa. A primeira faz menção à aptidão que algumas imagens têm de chamar a atenção do aluno, despertando um maior interesse pelo tema; a segunda, diz respeito ao prazo que a informação fica retida na mente, no caso das imagens este prazo mostra-se bastante longo; a terceira refere-se ao papel que as imagens empregam para elucidar as informações textuais, “estas são as mais utilizadas nos livros didáticos”.

Ainda acerca da função explicativa Duchastel e Waller (1979) apud Sebata et al (2005) discutem que a mesma pode ainda ser categorizada em sete distintas modalidades:

- *Descritiva* - imagem que tem um elevado grau de semelhança com o objeto, como por exemplo, uma fotografia;
- *Expressiva* - imagem que chama a atenção do leitor por suas fortes expressões. Um bom exemplo é a imagem de uma tragédia;
- *Construcional* - é a modalidade de imagem que explica as componentes de um equipamento, exemplo são as imagens presentes em manuais de montagens de equipamentos;
- *Funcional* - imagem que desempenham a mesma função da Construcional, porém com um rigor visual bastante reduzido;
- *Lógico-matemática* - é o tipo de imagem utilizada principalmente no âmbito científico, exemplos são os gráficos;

- *Algoritmica* - é a modalidade de imagem que explicita as possibilidades do planejamento de uma ação, exemplos são os organogramas;
- *Data-display* - é o tipo de imagem que possibilita uma rápida compreensão do fenômeno por meio de uma comparação. Exemplo são alguns gráficos comparativos.

Baseados nos trabalhos de autores como Bernad (1976), Duchastel (1981), Levin et al (1987), Feschotte e Moles (1991) Gillespie (1993), Perales e Jimenéz (2002) afirmam que as imagens se fazem presentes nos livros didáticos por diversas razões descritas a seguir:

- Enfeitar os livros didáticos para torná-los mais atraentes, no sentido de despertar o interesse dos leitores;
- Descrever situações ou fenômenos em torno da ampla capacidade humana de processar informações visuais em detrimento as textuais;
- Explicar situações descritas, que não são evidentes por si mesmas, cuja intenção é facilitar a aprendizagem do leitor.

Acerca das imagens presentes em livros didáticos, de acordo com Weidenmann (apud PERALES; JIMENÉZ, 2002) elas são classificadas em dois grupos - as que possuem um caráter pictórico ou descritivo, e aquelas que se distanciam da realidade, expressas por meio de códigos simbólicos. A primeira classe de imagens, pictóricas, é utilizada com a finalidade de explicitar o conteúdo buscando representar a realidade física. A segunda, não se preocupa em representar a realidade, mas sim utilizar elementos visuais para facilitar a compreensão do conteúdo abordado.

As imagens que se distanciam da realidade requerem certo grau de interpretação por parte do leitor, acerca dos propósitos desejados pelo autor do livro didático. Por consequência, muitas vezes estas não são compreendidas ou, em certas ocasiões, interpretadas de forma incorreta, comprometendo a aprendizagem (MOKROS TINKER apud PERALES; JIMENÉZ, 2002).

Segundo Mendes (2006) nos últimos anos houve uma crescente implementação de imagens em livros didáticos em contraste a escassez de uma educação dedicada à leitura e interpretação de imagens, haja vista que a prioridade educacional é voltada para a aprendizagem textual. Neste sentido a autora argumenta que há a necessidade de uma *alfabetização visual*, ou seja, o aprendizado da leitura das imagens.

Por outro lado Dondis (apud JOTTA; CARNEIRO, 2009) argumentam que:

“a compreensão de imagens requer uma alfabetização visual que deve atuar da mesma forma que a verbal, propiciando aos membros de um grupo compartilhar o significado comum da informação imagética”.

A utilização de recursos imagéticos em livros de física mostra-se bastante frequente, ocasionalmente pela qualidade gráfica que muito vem sendo aprimorada, com um amplo número de imagens bem trabalhadas e rigorosamente coloridas. Observa-se também que a crença da necessidade de aproximar o ensino da física com o mundo cotidiano possibilita a utilização de imagens nos livros didáticos. Por outro lado, esses dois fatores em conjunto tem levado os autores dos livros didáticos enfatizarem exageradamente o uso das imagens, com o intuito de assemelhá-las aos objetos reais, como um aspecto atrativo e de motivação para os discentes. No entanto concentra-se no uso excessivo de imagens, ocasionando problemas epistemológicos de comunicação que passam despercebidos pelos autores dos livros didáticos (MEDEIROS; MEDEIROS, 2001).

Segundo Carneiro (1997) existem distintas formas de analisar imagens de acordo com o propósito que se deseja, haja vista, que estas análises estão relacionadas à concepção de vários pensadores. Nesta perspectiva, Duchastel, 1979 apud Carneiro (op. cit.) menciona duas propostas acerca da análise de imagens:

“a primeira consiste em analisar as imagens segundo a sua morfologia, ou seja, segundo as suas características físicas ou formas de representação. Nessa primeira forma de análise, destacamos os trabalhos de Fleming (1967) que utiliza a cor, tipos de desenho e outros atributos para categorizar as imagens. A segunda consiste em adotar uma perspectiva funcional e analisa as imagens em termos do papel que desempenham em relação ao texto”. (Duchastel; Waller, 1979, p. 367-368).

A análise de imagens sobre suas funções e seus constituintes abrange uma área ampla, e neste caso é necessário delimitar a particularidade que se deseja analisar. Neste sentido, Perales e Jimenéz (2002) baseados em seus estudos de imagens em livros didáticos propõem uma taxonomia categórica das variáveis constituintes das imagens de livros didáticos, de acordo com o quadro IV.

Quadro IV. Categorias das variáveis de análises segundo Perales e Jimenéz (2002).

<i>Função da sequência didática em que aparecem as imagens</i>	Para que são utilizadas as imagens, em que parte do texto elas situam, etc.
<i>Iconicidade</i>	Qual o grau de complexidade das imagens
<i>Funcionalidade</i>	Como as imagens podem ser trabalhadas
<i>Relação da imagem com o texto principal</i>	Relações mútuas entre os textos e as imagens. Ajudas na interpretação.
<i>Etiquetas verbais</i>	Textos inclusos dentro das imagens
<i>Conteúdo científico que as fundamentam</i>	Caracterização do ponto de vista mecânico das situações representadas em imagens

5.2 A coerência entre o texto principal e a imagem nos livros didáticos

Segundo Perales e Jimenéz (op. cit.) a análise das imagens na perspectiva de que as mesmas contribuam para uma à compreensão textual, pressupõe que alguns fatores devam ser delimitados, tais como a relação mútua entre texto e imagem, a inclusão de textos específicos junto às imagens, e a inserção de texto dentro das imagens (etiquetas verbais).

A variável referente à relação da imagem com o texto principal pode ser entendida como a relação que o autor do livro didático estabelece entre as imagens e o texto, salientando que este texto refere-se explicitamente a uma imagem, mas não está contido nela, ou seja, não é uma etiqueta verbal.

Por outro lado a informação textual é constituída de elementos narrativos e argumentativos, enquanto a informação imagética se mostra parcial, neste sentido ela só é compreendida em sua totalidade quando aliada ao texto, desta forma, texto e imagem possuem uma correlação que deve ser interpretada corretamente, no ato do ensino (PERALES; JIMENÉZ, 2002).

No sentido de que as imagens trabalhadas conjuntamente com abordagens textuais possibilitam uma melhor compreensão da informação, Perales e Jimenéz (op. cit.) fundamentados nas ideias de autores como Mayer (1989); Mayer e Gallini (1990); Mayer (1994); Mayer et al (1996) argumentam que alguns requisitos devem ser cumpridos, a saber:

- Os textos devem ser explicativos, do modo que cada parte do texto seja descrita de forma causal e articulada em relação ao todo;
- Os leitores não devem ser conhecedores do tema abordado, do contrário, a presença das imagens torna-se insignificante;
- O texto deve ser complexo, de tal forma que a sua compreensão deva requerer do leitor esforço e ajuda, neste caso a utilização das imagens é imprescindível.

Ainda Segundo Perales e Jimenéz (op. cit.) a relação texto-imagem pode ser apresentada em três categorias distintas, classificadas como: conotativa, denotativa e sinótica, a descrição das mesmas é feita no quadro V.

Quadro V. Categorias de análise com relação ao texto principal.

Nome da categoria	Descrição
Conotativa	O texto descreve os conteúdos sem mencionar sua correspondência com os elementos inclusos na ilustração. Supõe-se que estas relações sejam óbvias e que o próprio leitor possa fazê-las.
Denotativa	O texto estabelece a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados.
Sinótica	O texto descreve a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados. Ainda estabelece as condições nas quais as relações entre os elementos inclusos na ilustração representam as relações entre os conteúdos, de modo que a imagem e o texto formam uma unidade indivisível.

5.3. A iconicidade das representações imagéticas

No sentido de estabelecer um grau de semelhança entre um objeto real e uma imagem pode ser utilizado o conceito de *iconicidade*. Segundo Moles (1987) iconicidade é uma magnitude oposta à abstração, ou seja, a quantidade característica de realismo presente numa imagem, o grau de semelhança entre o objeto e sua imagem.

Partindo desta definição o autor procedeu com a construção de uma escala em ordem decrescente de iconicidade, contendo 13 níveis. Inicia com o próprio objeto, que apresenta o maior nível de iconicidade, até aqueles que apresentam o menor nível ou maior abstração, neste caso são os objetos descritos por meio de palavras normalizadas ou fórmulas. Estas informações estão dispostas no quadro VI, o qual servirá de norte para a análise que o presente trabalho se dispõe a fazer.

Quadro VI. Escala de iconicidade segundo Moles (1981, p. 101). Tradução de Carneiro (1997).

Classe	Definição	Critério	Exemplos
12	O próprio objeto.	Eventual parêntese no sentido de Husserl.	A vitrine de uma loja, a exposição.
11	Modelo bi ou tri dimensional.	Cores e materiais arbitrários.	Exibições factícias.
10	Esquema bi ou tridimensional reduzido ou aumentado.	Cores ou materiais escolhidos segundo critérios lógicos.	Mapas com três dimensões: globo terrestre, mapa geológico.
9	A fotografia ou projeção realista sobre um plano.	Projeção perspectiva rigorosa, semitons e sombras.	Catálogos ilustrados e afiches.
8	Desenho ou fotografia ditos "sem contornos" (projeção visual do universal aristotélico). Perfis em desenhos.	Crítérios de continuidade e fechamento de forma.	Afiches, catálogos, prospectos e fotografias técnicas.
7	Esquemas anatômicos ou de construção.	Abertura da Carta ou do envelope. Respeito da topografia. Arbitrário dos valores. Quantificação dos elementos ou simplificação.	Corte anatômico, corte de um motor a explosão. Planejamento de cabos para um receptor de rádio.
6	Vista "estourada" (éclatéé).	Disposição perspectiva das peças conforme suas relações de vizinhança topológica.	Objetos técnicos de manuais de instrução.
5	Esquema de princípio: eletricidade e eletrônica.	Substituição dos elementos por símbolos normalizados, passagem da topografia à tipologia.	Plano esquematizado do metrô. Plano dos cabos de um receptor de TV ou uma parte do radar.
4	Organograma ou Block esquema.	Os elementos são caixas pretas funcionais ligadas por conexões lógicas: análise das funções lógicas.	Organograma de um empreendimento. "Flow chart" de um programa de computador. Série de operações químicas.
3	Esquema de formulação.	Relação lógica e não topológica num espaço não geométrico entre elementos abstratos. As ligações são simbólicas, todos os elementos são visíveis.	Fórmulas químicas desenvolvidas. Sociograma.
2	Esquema em espaços complexos.	Combinação num mesmo espaço de representação de elementos esquemáticos (flechas, plano, objeto) pertencendo a sistemas diferentes.	Forças e posições geométricas sobre uma estrutura metálica: esquemas de estática gráfica, polígono de Crêmona, representações sonográficas.
1	Esquema em espaço abstrato e esquema vetorial.	Representação gráfica num espaço métrico abstrato, de relação entre grandezas vetoriais.	Gráfico vetorial em eletrotécnica. Triângulo de Kapp, polígono de Blondel para um motor de Maxweel. Triângulo de vogais.
0	Descrição em palavras normalizadas ou em fórmulas algébricas.	Signos puramente abstratos sem relação imaginável com o significante.	Equações e fórmulas. Textos.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo aborda as análises acerca das questões de pesquisa anteriormente mencionadas, que serão investigadas nos livros didáticos. Este por sua vez está dividido em quatro seções específicas, nas quais se analisa individualmente cada questão nos oito livros selecionados.

Além explicitar as informações analisadas, há uma preocupação em tecer alguns comentários, acerca do que foi analisado a fim de se verificar de acordo com os referenciais desenvolvidos, a qualidade e a veracidade das informações presentes nos livros didáticos que são utilizados pelas escolas públicas brasileiras.

Na seção 6.1 analisou-se o desenvolvimento conceitual da eletrostática agregado ao processo histórico, a fim situar a lei de Coulomb no contexto em que foi desenvolvida.

Na seção 6.2 buscou-se investigar de que forma os livros selecionados descrevem os procedimentos experimentais realizados por Coulomb utilizando a balança elétrica, além das observações relatadas e dos resultados alcançados, comparados com aqueles descritos pelo mesmo em suas *Memórias*.

Na seção 6.3 investigamos o grau de semelhança entre as representações imagéticas da *balança elétrica* contidas nos livros analisados, com a representação da mesma, presente na *Primeira Memória* de Coulomb, haja vista que não foi possível comparar com o experimento real. Esta investigação levará em conta a estrutura da balança, seus constituintes físicos, e a coerência das proporções nas representações dos livros didáticos.

A seção 6.4 tem como foco de análise a coerência entre as representações imagéticas da balança elétrica presentes nos livros didáticos e o texto principal a que se refere. Deve-se frisar que neste caso, não necessariamente os textos devem ser amplamente complexos, ou as imagens apresentem elevado nível de iconicidade, mas no mínimo que aquilo que esteja presente na imagem condiga com a descrição textual.

6.1. Análise do processo histórico-conceitual referente à formulação da Lei de Coulomb nos livros didáticos de física.

O livro A não faz nenhuma menção ao processo histórico do desenvolvimento conceitual da eletrostática, que tenha favorecido a formulação da Lei de Coulomb. Apresenta esta lei como um resultado pronto e acabado, pautada numa expressão matemática, além de centralizar Coulomb como o único responsável pelo mérito alcançado, a abordagem anterior, de certa forma, proporciona uma visão de ciência estática como propriedade de algumas cabeças pensantes, algo pronto e imutável, que não evolui, sempre se fundamenta nas mesmas ideias, ocultando todo o processo de construção do conhecimento e desenvolvimento científico.

O livro B também não menciona o desenvolvimento conceitual da eletrostática agregado ao processo histórico que favoreceu a formulação da lei de Coulomb, assim como prioriza Coulomb como único pensador responsável pela formulação da mencionada Lei, utilizando a “balança de torção”. Isto corrobora com a ideia de que a ciência é construída por episódios marcantes ou descobertas feitas por grandes personagens numa determinada época, e que estas descobertas ocorrem de maneira isolada dos demais fatos (MARTINS, 2006).

O livro C, assim como os anteriores mencionados, não aborda o processo histórico do desenvolvimento conceitual para a lei de Coulomb. Centraliza em Coulomb a construção da mencionada lei, creditando unicamente ao mesmo uma atitude de cientista memorável na formulação da Lei que rege seu nome, por meio da “balança de torção”.

No livro D, por sua vez, os autores não apresentam nenhuma menção referente ao contexto da construção da lei de Coulomb, notadamente, nenhuma menção as pressuposições adotada por Coulomb, como também nenhuma referência às experimentações implementadas. Ao invés disso, apresentam uma argumentação descontextualizada acerca dos fenômenos físicos subjacentes, bem como o produto final da proposição de Coulomb.

O livro E não traz nenhuma abordagem acerca do processo histórico ligado ao desenvolvimento conceitual da lei de Coulomb, destacando Coulomb como cientista emérito, que fez a descoberta da Lei fundamental da eletrostática utilizando como sempre a “balança de torção”, sem a contribuição de nenhum outro conhecimento advindo de outro pensador.

O livro F faz uma vaga abordagem histórica da evolução do conhecimento referente à eletrostática, mencionando apenas as “descobertas” de cientistas renomados como Gilbert, Stephen Gray, Charles Du Fay, Franklin, Coulomb dentre outros, porém, o aspecto do desenvolvimento conceitual é apresentado de forma sucinta e com certa desarticulação em relação ao aprimoramento das ideias científicas, da construção da ciência. Isto é um exemplo claro do que Martins (2006) considera como: “a redução da história da ciência a nomes, datas e anedotas”, neste caso apenas nomes e datas.

O livro G não discute o contexto histórico subjacente ao desenvolvimento conceitual da eletricidade. Menciona apenas a hipótese de Priestley da relação do inverso do quadrado da distância para a força elétrica, baseada nos resultados da gravitação newtoniana e nas ideias de Franklin, que teria “influenciado” Coulomb a verificar experimentalmente tal hipótese e obtido uma relação para a força elétrica como sendo “proporcional ao produto das quantidades de cargas nas esferas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as mesmas” que é expressa por uma fórmula matemática.

Essa forma de tentar mencionar a história da ciência no ensino, conduz a uma ideia de ciência fragmentada em relação ao processo de sua construção, fundamentada em ideias prontas, sem um caráter coletivo de construção, além de banalizar o trabalho do cientista e ocultar o processo de construção do conhecimento.

O livro H procede com uma abordagem histórica vaga, assim como menciona de forma desarticulada um pequeno contexto do desenvolvimento conceitual da eletrostática, destacando apenas resultados encontrados por alguns personagens.

Neste ocultam o verdadeiro processo de construção do conhecimento, em termos de construções e aperfeiçoamento da grande maioria dos instrumentos, métodos utilizados, articulações e discrepâncias das ideias que muito contribuiu para o desenvolvimento conceitual desta importante área da física, contudo a relação do contexto histórico com o desenvolvimento conceitual da eletrostática permanece oculta.

Estas observações se mostram contrastantes com relação à abordagem realizada no capítulo 2 do presente trabalho, que traz um apanhado acerca do processo histórico do desenvolvimento das ideias e conceitos relacionados à eletricidade e o magnetismo. Por outro lado estas análises evidenciam a ideia de

ciência pensada como construção humana, agregada a sociedade e pautada na evolução de ideias como sugerem os PCNEM é corrompida, confirmando a afirmação de Martins (2006) ao mencionar que o caráter do desenvolvimento científico e da natureza propiciado pela história da ciência é ocultado nos livros didáticos, que se preocupam apenas citar resultados científicos, conceitos, técnicas de análise, nomes e datas.

6.2. Análise da construção da balança elétrica e dos procedimentos realizados por Coulomb que corroboraram para os resultados alcançados

O livro A não faz nenhuma descrição quanto ao processo de construção da *balança elétrica* por Coulomb. Além disso, cita alguns procedimentos de operações para com a balança elétrica que estão plenamente em desacordo com os relatados por Coulomb em sua *Primeira Memória*. Assinalam:

“Para estabelecer a Lei fundamental da eletrostática, Coulomb usou duas pequenas esferas eletrizadas e fixadas em uma haste. A haste era sustentada por um fio que podia girar. Uma terceira esfera eletrizada era aproximada de uma das esferas, causando a torção do fio” (p.23).

Comparando a imagem da balança elétrica do livro A com aquela presente nas memórias de Coulomb, observamos que não eram duas esferas fixas à haste, e sim uma esfera e um plano de papel. Por outro lado, percebemos que imagem na balança elétrica, presente na obra de Coulomb, esta terceira esfera menciona da pelo livro A, encontra-se fixa, e em contato com a outra esfera móvel, e estas são eletrizadas por um pequeno condutor e se repelem, além do mais, a força de repulsão entre as esferas era o que causava a torção no fio.

Esta inconveniência com relação ao aspecto físico e funcional da balança elétrica pode ser comprovada no capítulo 3 desta monografia, especificamente nas seções 3.3.1 e 3.3.3 que contêm uma tradução da *Primeira Memória*.

Por outro lado percebe-se que há uma preocupação em apenas relatar as conclusões obtidas por Coulomb, e por vezes de maneira errônea:

“por experiências com uma balança de torção, o físico francês Charles Augustin de Coulomb verificou que a intensidade da força elétrica entre duas cargas elétricas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos módulos das cargas” [...] (p.23).

Esta última afirmação está em pleno desacordo com os relatos de Coulomb, pois o mesmo, jamais comprovou tal afirmação utilizando a “balança de torção”. Coulomb supôs esta hipótese, por analogia à lei da gravitação de Newton, conforme alerta Gillmor (apud TEIXEIRA; KRAPAS, 2005).

O livro B não descreve o processo de construção da balança elétrica. Apenas faz uma breve menção dos procedimentos operacionais, que não condiz com os mesmos realizados, em sua totalidade, por Coulomb. Afirma por exemplo que: “o experimento é realizado introduzindo-se uma barrinha isolante com uma esfera metálica (2) previamente eletrizada e fixada na sua parte inferior, por um orifício aberto próximo da borda da base superior da caixa de vidro” (p. 34).

Na balança elétrica original, Coulomb nunca utilizou esferas metálicas e sim bolas de medula, por outro lado a esfera (2) mencionada não era introduzida eletrizada na balança, ela era inserida inicialmente neutra, ficando em contato com outra esfera que podia girar, e posteriormente é que era eletrizada, como pode ser observado nos procedimentos descritos por Coulomb na seção 3.3.3 deste trabalho.

Além do mais, o livro B ainda comete o mesmo equívoco do anterior ao mencionar que Coulomb realizou “diversas experiências com diversas quantidades de cargas e estabeleceu também que as intensidades das forças elétricas eram diretamente proporcionais ao produto das quantidades de cargas presentes nas esferas” (p. 34).

Essa informação não foi observada na *Primeira Memória*, onde Coulomb situa todos os procedimentos experimentais realizados com a balança elétrica.

O livro C não descreve a *balança elétrica*, em termos de materiais utilizados, estrutura física, técnicas e teorias subjacentes. Além do mais, menciona um método de operar a balança para a obtenção de resultados, que menospreza e distorce completamente aqueles relatados por Coulomb. Também procede com informações amplamente incongruentes, tais como: “Em 1785, o físico francês Charles Coulomb utilizou uma balança de torção para medir a intensidade da atração ou repulsão entre corpos eletrizados” (p.36).

A partir da afirmativa anterior, vale salientar que Coulomb nunca utilizou tal balança para medir a força de atração entre dois corpos eletrizados, tendo desenvolvido a mesma para repulsão entre duas esferas de medula. Para medir a atração ele utilizou outra balança, inclusive como nota Heering (apud TEIXEIRA; KRAPAS, 2005).

Outra afirmação explícita e incompatível com relação aos resultados de Coulomb, observada no livro C é a seguinte:

“Após realizar uma série de cuidadosos testes e analisar detalhadamente os resultados, concluiu que as forças de atração e repulsão entre os corpos

eletrizados eram diretamente proporcionais ao produto dos módulos das cargas” (p.36).

Como já discutido anteriormente, Coulomb nunca mencionou ter realizado experiências para determinar tal proporcionalidade.

Semelhantemente ao livro anterior, no livro D não traz nenhuma descrição da configuração física da balança nem das pressuposições incorporadas. No entanto, neste livro encontra-se um esquema simplificado da mencionada balança e uma explicação do seu funcionamento.

No livro E também não há nenhuma descrição do processo de construção da *balança elétrica* por Coulomb. Além disso, não menciona os procedimentos utilizados por Coulomb para com a balança na obtenção dos resultados. Apenas alega algumas conclusões obtidas pelo mesmo, sem elucidar nenhuma correlação do mecanismo da balança com os resultados. Vale ressaltar também que as informações inconvenientes acerca da *balança elétrica*, citadas no livro C e D também são observadas neste.

O livro F pauta-se apenas em ilustrar a *balança elétrica* sem fazer nenhuma descrição plausível sobre seu mecanismo, estrutura e funcionamento. Desta forma oculta completamente o processo de construção, e os procedimentos realizados por Coulomb. Diante disto, situa apenas os resultados propiciados pela mesma, acerca da qual assinala:

“Em 1784, Coulomb iniciou uma série de cuidadosos experimentos, utilizando uma balança de torção muito sensível, por ele projetada, para descobrir a relação entre o módulo da força de interação entre os corpos carregados eletricamente e a distância entre eles, e concluiu que a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Na balança de torção, a medida do módulo da força de atração ou repulsão entre as esferas carregadas no interior do cilindro de vidro é feita por meio da torção do fio” (p.36).

O livro G omite completamente o processo de construção da *balança elétrica* por Coulomb, e a estrutura física da mesma é apresentada de forma simplificada e completamente distinta daquela descrita na *Primeira Memória* por Coulomb. Além do mais, é ilustrada com objetos que jamais foram utilizados, como por exemplo, esferas metálicas e fio de seda.

Vale ressaltar também que os métodos empregados por Coulomb tal como descritos por este livro, se mostram largamente distorcidos e distantes daqueles registrados pelo mesmo. Exemplificamos com a seguinte citação:

“O físico francês Charles Coulomb (1738-1806), utilizando uma balança de torção, comprovou experimentalmente a hipótese segundo a qual as forças elétricas que objetos carregados exercem variam inversamente com o quadrado da distância. Coulomb também estabeleceu a relação entre a

intensidade da força elétrica e a quantidade de cargas. Para isso, pegou duas esferas metálicas de mesmo raio, uma neutra e outra carregada, e encostou uma na outra. Após o contato, carga excedente redistribuiu-se igualmente entre as duas esferas. Coulomb mediu a intensidade da força elétrica produzida pelas esferas (agora com $\frac{1}{2}$ de cargas), encostando um das esferas em outra como mesmo tamanho e estando neutra. Agora, com $\frac{1}{4}$ das cargas, mediu novamente a intensidade da força, e assim sucessivamente” (p. 78).

Como já discutido, Coulomb nunca mencionou nenhum procedimento para determinar a relação da força elétrica com as quantidades de cargas, e ainda por cima, quantidades precisas de cargas, pois isto não é mencionado momento algum em sua Primeira Memória, onde estão registrados também seus procedimentos experimentais referentes à *balança elétrica*.

O livro H, assim como os demais, não traz nenhuma discussão acerca do processo de construção da balança elétrica, tampouco, detalha a estrutura física da mesma. Quanto aos procedimentos operacionais para com a balança, estes são mencionados de forma simplória e divergem daqueles descritos por Coulomb. Assinalam: “*Coulomb construiu um aparelho, denominado balança de torção, com o qual ele podia medir diretamente as forças de atração e repulsão entre corpos eletrizados*” (p.35).

Como já foi discutido anteriormente, Coulomb não se dispôs a analisar com a balança a força de atração e sim a força de repulsão entre duas esferas de medula.

Através de um desenho ilustrativo pouco detalhado da *balança elétrica* de Coulomb, os autores do livro H assinalam:

“Duas esferas estão equilibradas nas extremidades de uma haste horizontal, suspensa por um fio. Uma esfera a está eletrizada, e uma esfera b, também eletrizada, é aproximada de a. Em virtude da força elétrica que se manifesta entre a e b, a haste gira, provocando uma torção no fio. Medindo o ângulo de torção do fio, Coulomb conseguia determinar o valor da força entre as esferas [...] realizando medidas com as esferas separadas por diversas distâncias, Coulomb verificou que, realmente, a força era inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas” (p. 35).

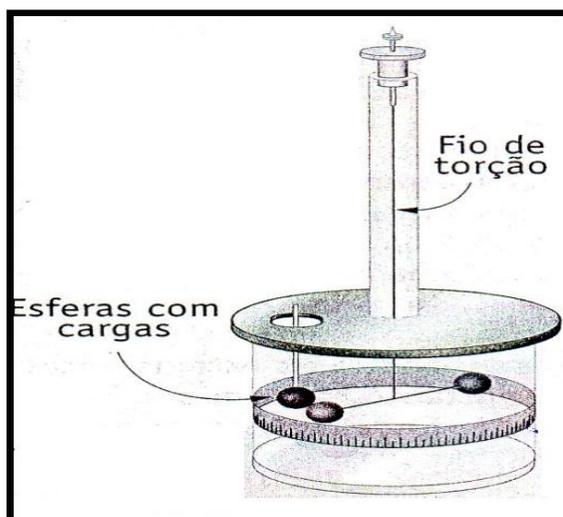
A descrição anterior mostra-se simplista e incongruente com relação aos procedimentos descritos por Coulomb em suas *Memórias*, deixando evidente o menosprezo ao processo de realização do experimento, em detrimento a preocupação com o resultado.

6.3. Análise do grau de iconicidade das representações imagéticas da balança elétrica

Nesta seção, faremos uma análise acerca do grau de iconicidade das imagens da *balança elétrica* de Coulomb presente nos livros didáticos analisados. Tomaremos como referência o nível de iconicidade da representação imagética desta balança presente nas *Memórias de Coulomb*, mencionada neste trabalho como sendo a imagem 11, que de acordo com o quadro VI, interpreta-se ter nível de iconicidade 8, definida como um perfil em desenho.

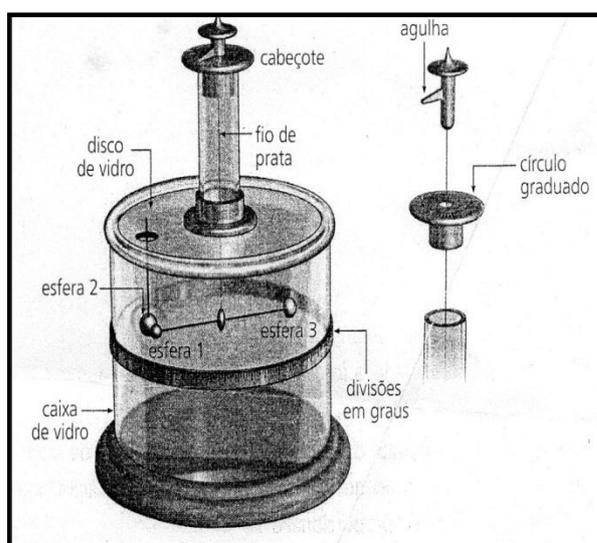
O livro A utiliza uma representação imagética da balança elétrica com um nível de iconicidade relativamente baixo, pois comparada com a que se toma por referência, observa-se a ausência de certos constituintes físicos da mesma. Por exemplo, o índice do micrômetro, assim como as divisões em graus que marcam a posição de tal índice, a pequena palheta contendo o condutor que eletriza as esferas, além do grampo que prende a haste da esfera introduzida no orifício da tampa que cobre o cilindro, além do mais substitui o plano de papel colocado na extremidade direita da haste suspensa, por outra esfera. Aparentemente esta representação da balança no mencionado livro, é meramente ilustrativa. Mas, em um sentido amplo, tais modificações se de fato fossem utilizadas, poderiam ter propiciado resultados diferentes dos obtidos por Coulomb. Isso evidencia o distanciamento da abordagem da imagem pelo livro com o contexto original.

Imagem 12 - Representação da Balança elétrica apresentada pelo livro A.



O livro B também utiliza uma representação que não apresenta um nível de iconicidade muito elevado. Inicialmente, constata-se que alguns equívocos mencionados na representação da balança pelo livro A, também se fazem presentes no livro B, tais como: ausência da pequena palheta contendo o condutor que eletriza as esferas, o grampo que prende a haste da esfera introduzida no orifício do “disco de vidro”, além da substituição do plano de papel pela “esfera 3”.

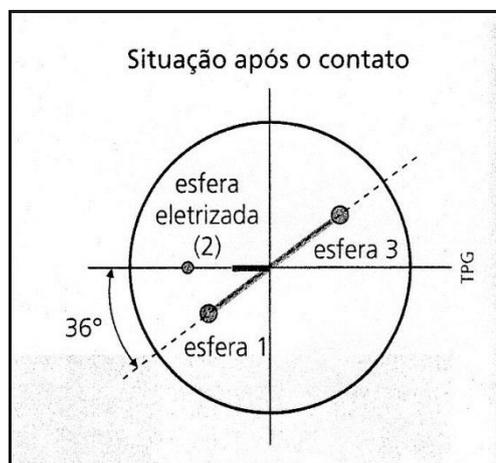
Imagem 13. Representação da balança elétrica apresentada pelo livro B.



Por sua vez, a representação do livro B é visivelmente incoerente com relação às proporções de alguns elementos constituintes da balança, se comparada com as proporções da representação de Coulomb em suas *Memórias*. O “tubo cilíndrico de vidro” na parte superior da caixa de vidro se mostra verticalmente menor que a própria caixa, e a “barra isolante horizontal” que comporta as esferas 1 e 3 possui um comprimento que é quase o mesmo do fio de prata.

Outra constatação que aponta certo descuido na representação imagética dos elementos constituintes da balança é percebida ao associar a imagem 13, onde a esfera 2 se mostra maior que a esfera 1, com a imagem 14 que expressa uma vista superior da representação da balança elétrica, para exemplificar os procedimentos realizados por Coulomb, neste caso a esfera 1 passa a ser maior que 2.

Imagem 14. Vista superior da balança elétrica, apresentada no livro B.



As observações anteriores despertam certa dúvida quanto à eficácia e utilização de imagens representativas nos livros didáticos e dos processos avaliativos aos quais os mesmos são submetidos. Além do mais, se percebe que não há uma correspondência coerente entre a representação da balança elétrica Coulomb em suas *Memórias*, com a apresentada no livro B.

O livro C apresenta três representações imagéticas associadas à balança elétrica, 15, 16 e 17. A primeira busca representar a força elétrica entre as esferas; a segunda refere-se à representação retirada das *Memórias* de Coulomb, ressaltando que é semelhante a que estamos utilizando como referência; e a terceira supõe-se ser uma reprodução fotográfica da balança original, haja vista que o autor não especifica.

Chamando a atenção para esta primeira imagem representativa 15, a qual distorce completamente o sentido das duas posteriores. Percebe-se, inicialmente, que o fio de prata que deveria ser muito fino, tem a mesma espessura da agulha que prende a “esfera B” e a outra esferinha;

A “esfera B” na verdade não é uma esfera e sim um plano de papel. Além disso, o autor do livro C inverteu as extremidades da agulha na explicação das interações elétricas entre as esferas, ou seja, a esfera menor era quem deveria sofrer a ação da força elétrica e não a “esfera B”, que na verdade é um plano de papel. Vale salientar também que, a agulha não deve ficar inclinada como apresentada na figura, pois isto prejudicaria as observações das posições das esferas.

Imagem 15. Ilustração da atração e repulsão entre as esferas eletrizadas apresentada no livro C.

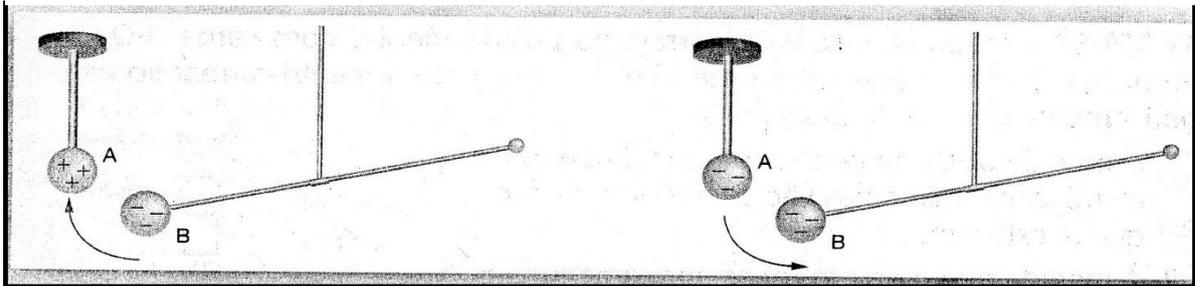


Imagem 16 - Ilustração da balança elétrica de Coulomb, semelhante àquela apresentada nas Memórias de Coulomb, extraída do livro C.

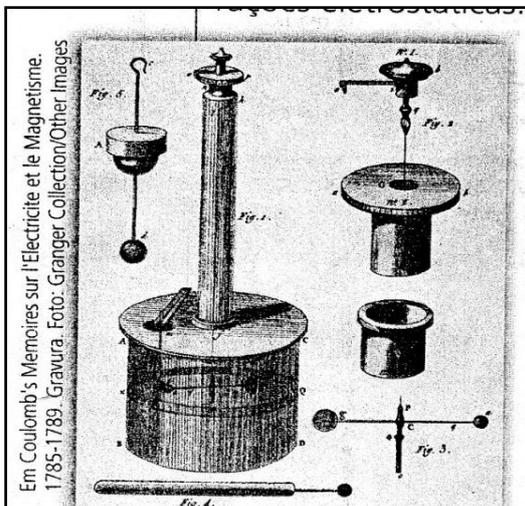
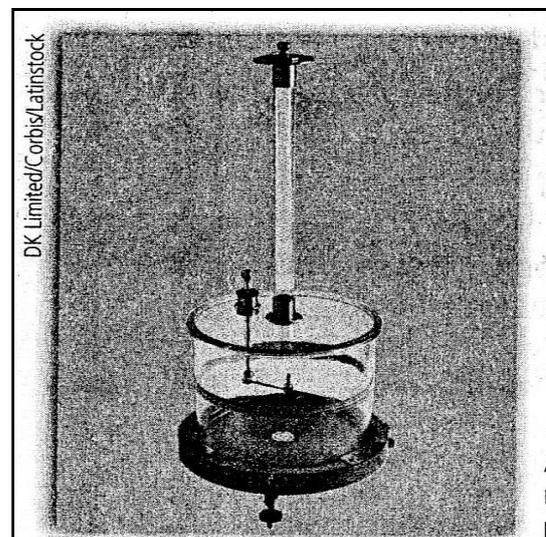


Imagem 17 - Fotografia da balança elétrica, extraída do livro C.



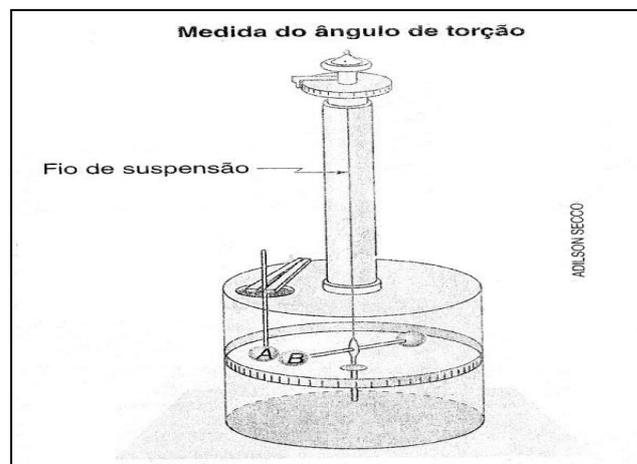
O livro D traz uma ilustração da balança de torção de Coulomb com semelhanças em relação àquela apresentada nas *Memórias* de Coulomb. No entanto, uma esfera substitui o plano de papel. Além disso, as proporções das esferas não estão de acordo com aquela apresentada por Coulomb. A fita em torno do recipiente encontra-se com divisões, visivelmente aleatórias, assim como a ponteira do micrômetro. Não há nenhuma indicação acerca do fio central que perpassa o cilindro de vidro e fixa a haste horizontal que sustenta as esferas (Imagem 18).

Imagem 18. Ilustração da balança elétrica de Coulomb, extraída do livro D.



O livro E utiliza uma ilustração bastante simples para representar a *balança elétrica* de Coulomb. Percebe-se que há ausência do plano de papel, que é substituído por uma esfera, além da palheta contendo o condutor que eletriza as esferas. Por outro lado, deve-se mencionar também que as proporções desta representação não estão de acordo, com a mesma apresentada por Coulomb em suas *Memórias*. Neste sentido, a iconicidade da representação da *balança elétrica* neste livro mostra-se bastante limitada quanto ao rigor das partes constituintes, se comparada com a de representação utilizada por Coulomb.

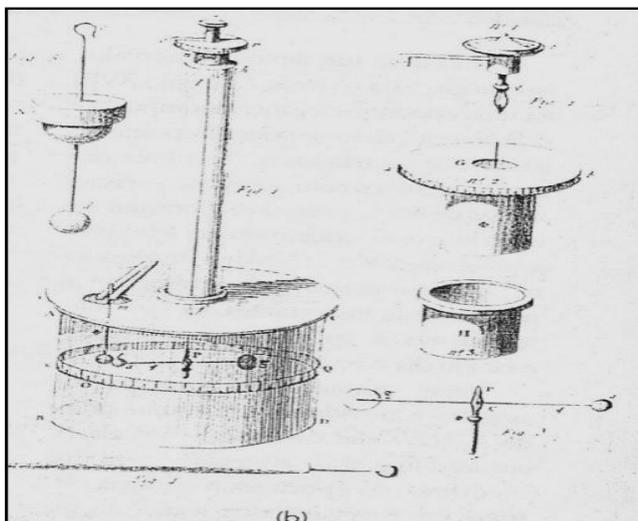
Imagem 19. Ilustração da balança elétrica de Coulomb extraída do livro E.



O livro F adota como representação imagética da balança elétrica, a mesma utilizada por Coulomb em suas *Memórias*, que corresponde a utilizada como referência, para analisar o grau de iconicidade. Por outro lado vale salientar que

mesmo a imagem da *balança elétrica* no livro apresentando um plausível nível de iconicidade, a compreensão da mesma em sua totalidade, exige outros elementos, além de sua mera representação.

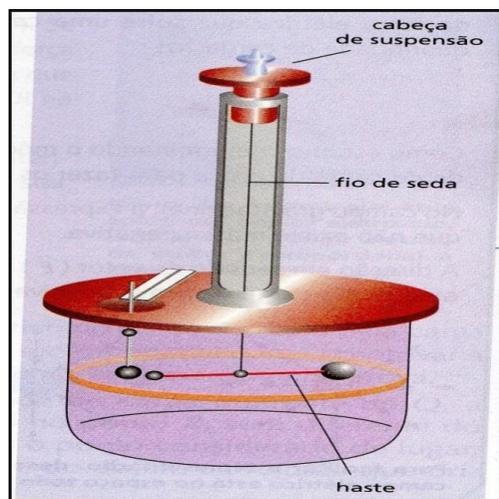
Imagem 20 - Ilustração da balança elétrica de Coulomb, apresentada no livro F.



O livro G apresenta uma imagem da balança de torção que, quanto a sua estrutura física, se distancia quase que em sua totalidade daquela registrada por Coulomb em suas *Memórias*. Comparando-se as duas representações, se percebe que, na do livro G, a escala micrométrica assim como o índice ou ponteiro do micrômetro não se fazem presentes; o fio de suspensão utilizado não é de prata e sim de seda; o plano de papel que deveria está situado na extremidade da haste horizontal é substituído por uma esfera; a haste vertical inserida no orifício da tampa que recobre o recipiente deveria conter apenas uma esfera em vez de duas; a fita em torno do recipiente não apresenta as divisões em graus; há ausência da palheta contendo o condutor que eletriza as esferas; o formato do recipiente não condiz com o utilizado por Coulomb, além disso, o uso de cores decorativas afasta ainda da realidade tal representação.

Pode-se até discutir que isto é apenas uma representação, não obrigatoriamente é necessário que a mesma esteja totalmente vinculada com a realidade. Por outro lado, considerar tal artifício é negar a própria natureza da ciência, é considerá-la fictícia, como algo distante da realidade, ou dito de outra forma, será que Coulomb teria alcançado os mesmos resultados se tivesse construído sua balança de acordo com a representação do livro G?

Imagem 21 - Ilustração da balança elétrica de Coulomb apresentada no livro G.



O livro H utiliza uma representação menos errônea que a do livro G, porém se nota também a ausência de certos elementos constituintes da balança, como: as divisões em graus na fita colada em torno do recipiente; a ausência da palheta contendo o condutor que eletriza as esferas; e o plano de papel que é também substituído por uma esfera. De certa forma, isto possibilita uma redução do grau de iconicidade da imagem e conseqüentemente, um afastamento da realidade, haja vista que esta balança foi projetada de maneira bastante detalhada, com propósitos bastante amplos e questões de investigação. Então não representá-la o mais fiel possível, é negar o esforço científico, e desvalorizar o caráter experimental da ciência, além de evidenciar que há uma preocupação maior com os resultados, em detrimento aos processos para obtenção dos mesmos.

Imagem 22 - Ilustração da balança elétrica de Coulomb apresentada no livro G.



Fig. 1-36: Cópia do desenho da balança de Coulomb, feito pelo seu inventor.

6.4. Análise da coerência entre o texto principal e as representações imagéticas da balança elétrica

O livro A além de trazer uma imagem muito simplificada da balança elétrica, a mesma utilizada para investigarmos o grau de iconicidade²⁰, em comparação com aquela descrita por Coulomb, percebe-se que a abordagem textual expressa uma relação pouco condizente com a referida imagem. Acerca desta, os autores assinalam:

Em 1785, por meio de experiências com uma balança de torção, o físico francês Charles Augustin de Coulomb verificou que a intensidade da força eletrostática entre duas cargas elétricas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos módulos das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa. Essa lei ficou conhecida como Lei de Coulomb. [...] para estabelecer a lei, Coulomb usou duas pequenas esferas eletrizadas e fixadas em uma haste. A haste era sustentada por um fio que podia girar. Uma terceira esfera eletrizada era aproximada de uma das esferas, causando a torção no fio (p.22-23).

Observa-se que no texto não são descritos todos os elementos presentes nas imagens, nem suas respectivas funções, tampouco se constata uma articulação entre os procedimentos realizados e os resultados citados pelo livro, com a imagem apresentada. Isto, em vez de facilitar o entendimento da informação textual, acaba deixando uma lacuna que dificulta ainda mais a visualização e a compreensão da abordagem textual.

O livro B procede com uma descrição textual simplória daquela mesma representação da balança elétrica, notadamente acerca dos elementos que compõem a estrutura física da mesma. Entretanto observa-se o seguinte inconveniente com relação à congruência entre a abordagem textual e representação imagética:

“Além disso, uma barra isolante horizontal, com duas esferas metálicas (1 e 3) presas nas extremidades, é suspensa por um fino fio de prata preso ao cabeçote. A barra isolante pode girar livremente diante de uma graduação de 0 a 360°, inscrita numa fita de papel colada na caixa de vidro” (p.34).

Percebe-se pela imagem que as duas esferas metálicas na barra isolante apresentam tamanhos diferentes. Como o texto não especifica, supõe-se que sejam feitas do mesmo material. Como o fio suspende a barra na região equidistante entre as extremidades, esta barra jamais poderia está equilibrada. Neste caso, constata-se uma incoerência entre o texto e a imagem apresentada, devido à ausência de

²⁰ As imagens analisadas na seção 6.3, referem-se às mesmas da 6.4.

detalhes textuais, que podem dificultar a compreensão da representação imagética ou promover interpretações errôneas da mesma.

Outro inconveniente com respeito à coerência entre texto e imagem refere-se ao segundo teste, de acordo com o livro, realizado por Coulomb em suas experiências com a balança:

Girando o cabeçote em 126° no sentido horário, diminui o deslocamento angular sofrido pela barra isolante para aproximadamente metade (18°). Conclui-se, então, que para diminuir o ângulo para metade do valor inicial (diminuindo a distância, portanto), a força de torção no fio teve que ser aumentada 4 vezes: $126^\circ + 18^\circ = 144^\circ = 4 \times 36^\circ$ (p. 34).

Com relação à imagem correspondente a esta descrição textual, observa-se que a agulha do micrômetro parece ter sido girada não da posição 0° do círculo graduado, e sim a partir de 18° , o que não corresponde à informação textual apresentada. Pode-se argumentar, neste caso, que a imagem apresentada não corrobora com as informações textuais e de certa forma, prejudica a compreensão das mesmas.

O livro C apresenta duas imagens sobre a *balança elétrica* de Coulomb, porém a única menção textual expressa com relação às mesmas resume-se a ressaltar que foi construída por Coulomb. O mesmo traz ainda uma terceira imagem para explicar os procedimentos e os resultados obtidos por Coulomb. Acerca destes os autores assinalam:

Aproximando as esferas carregadas com sinais e quantidades de carga iguais e diferentes, Coulomb mediu a deflexão causada pela torção do fio. Após realizar uma série de cuidadosos testes e analisar detalhadamente os resultados, concluiu que as forças de atração e repulsão entre os corpos eletrizados eram diretamente proporcionais ao produto dos módulos das cargas [...] observou também que a força elétrica tinha sua intensidade variada de acordo com o inverso do quadrado da distância entre elas (p.36)

Diante disso, pode-se perceber que as informações textuais mostram-se antagônicas em relação à imagem apresentada sob os seguintes critérios: na imagem são observadas apenas quantidades de cargas iguais presentes nas esferas; não é possível identificar através da imagem qual fio que sofre uma deflexão; a imagem não mostra nenhum indício de uma relação do tipo inverso do quadrado da distância para as esferas. Isto pode ocasionar uma compreensão distorcida das informações pelo leitor.

No livro D, os autores apresentam um texto descrevendo a configuração física e mecânica da *balança elétrica*, apesar de nomearem a mesma de balança de torção. Assinalam:

*“Uma barra isolante terminada em duas pequenas esferas metálicas é suspensa por um delgado fio de prata. Outra barra isolante, provida no seu extremo de uma pequena esfera metálica **b** carregada, é introduzida pelo orifício superior. As esferas **a** e **b** são colocadas em contato e **a** eletriza-se com carga de mesmo sinal que **b**. As esferas repelem-se, o que provoca a torção no fio de suspensão. A intensidade da força elétrica é proporcional ao ângulo de torção. Medindo o ângulo de torção para diferentes distâncias entre **a** e **b**, Coulomb estabeleceu a lei do inverso do quadrado da distância [...] (p. 15).*

Como não há nenhuma etiqueta verbal na imagem acerca do fio de prata, tampouco a barra isolante, dificulta uma associação entre o texto e a imagem. Semelhantemente, não há nenhuma indicação acerca das divisões da fita, as quais são aleatórias. Assim, interpretamos que inviabiliza o leitor localizar mencionado ângulo de torção para as diferentes distâncias **a** e **b**.

Com respeito ao livro E, a única relação expressa entre o texto principal e a imagem da *balança elétrica* é a seguinte:

Realizando experiência com um dispositivo chamado balança de torção, Coulomb conseguiu medir a intensidade de forças de atração e de repulsão entre duas pequenas esferas carregadas eletricamente. Analisando os resultados obtidos, Coulomb estabeleceu a lei que leva seu nome. Ele verificou que as forças elétricas apresentavam intensidades diretamente proporcionais aos módulos das cargas dos corpos que estavam interagindo e inversamente proporcionais ao quadrado das distâncias entre seus centros (p. 25).

Diante disso, interpreta-se que não é possível ter uma visualização dos fenômenos descritos nos mencionados resultados, através da representação da balança no mencionado livro. Além do mais, os elementos que compõem a balança, que podem ser observados nesta imagem, não são descritos em sua maioria, apenas alguns (fio de suspensão e esferas) são citados na etiqueta verbal.

A partir das especificações anteriores, se pressupõem que a imagem foi posta arbitrariamente sem nenhuma razão de complementação ao texto principal, ou propiciar uma melhor compreensão das informações textuais.

O livro F, por sua vez, apenas expõe a imagem da *balança elétrica* de Coulomb, sem nenhuma descrição de sua estrutura física, ou das operações realizadas com a mesma, que culminaram nos resultados que levaram a formulação da lei de Coulomb.

A única relação estabelecida pelo livro entre o texto principal e a imagem da *balança elétrica* é somente para mencionar os resultados alcançados por Coulomb, acerca dos quais, o autor assinala:

Em 1784, Coulomb iniciou uma série de cuidadosos experimentos, utilizando uma balança de torção muito sensível, por ele projetada, para

descobrir a relação entre o módulo da força de interação entre os corpos carregados eletricamente e a distância entre eles, e concluiu que a força é inversamente proporcional ao quadrado da distância (p.36).

Conjectura-se então que a imagem da *balança elétrica* é incluída de forma arbitrária e que, em pouco ou nada contribui para se complementar a abordagem textual ou promover uma melhor compreensão das ideias expostas, quando incorporadas no próprio experimento.

O livro G procede com uma abordagem textual que pouco se relaciona com a representação imagética da *balança elétrica*. Os autores assinalam:

“O físico francês Charles Coulomb (1738-1806), utilizando uma balança de torção, comprovou experimentalmente a hipótese segundo a qual as forças elétricas que objetos carregados exercem variam inversamente com o quadrado da distância. Coulomb também estabeleceu a relação entre a intensidade da força elétrica e a quantidade de cargas. Para isso, pegou duas esferas metálicas de mesmo raio, uma neutra e outra carregada, e encostou uma na outra. Após o contato, carga excedente redistribuiu-se igualmente entre as duas esferas. Coulomb mediu a intensidade da força elétrica produzida pelas esferas (agora com $\frac{1}{2}$ de cargas), encostando um das esferas em outra como mesmo tamanho e estando neutra. Agora, com $\frac{1}{4}$ das cargas, mediu novamente a intensidade da força, e assim sucessivamente. Coulomb constatou que a intensidade da força era proporcional à quantidade de cargas” (p.78).

Ao que se percebe, entre a descrição textual e a imagem os autores não estabelecem uma relação harmoniosa e recíproca, pois a imagem não tem o propósito de elucidar as informações textuais, assim como o texto não descreve fielmente os elementos que compõem a imagem. Desta forma, pode-se conjecturar que esta falta de correspondência entre as informações, em vez de facilitar a ideia a ser transmitida, acaba dificultando-a ainda mais.

O livro H deixa transparecer explicitamente que faz uma abordagem muito tênue com relação às informações textuais condizentes com a representação imagética da *balança elétrica*, haja vista que há uma preocupação maior em descrever textualmente os resultados obtidos por Coulomb, em detrimento a uma descrição ampla dos seus elementos constituintes de tal *balança*, ou então sobre as etapas que propiciaram esses resultados, os autores assinalam:

“Coulomb construiu um aparelho, denominado balança de torção, com o qual ele podia medir diretamente as forças de atração e repulsão entre corpos eletrizados. A imagem P apresenta uma cópia do desenho desta balança, feito pelo próprio Coulomb no relatório enviado à Academia de Ciências. Observe, no desenho, que duas esferas estão equilibradas nas extremidades de uma haste horizontal, suspensa por um fio. A esfera a está eletrizada e uma esfera b, também eletrizada, é aproximada de a. Em virtude da força elétrica que se manifesta em entre a e b, a haste gira, provocando uma torção no fio. Medindo o ângulo de torção do fio, Coulomb conseguia determinar o valor da força entre as esferas [...] realizando medidas com as esferas separadas por diversas distâncias, Coulomb verificou que, realmente, a força elétrica era realmente inversamente

proporcional ao quadrado da distância entre elas. Além disso, ele concluiu que esta força era proporcional ao produto das cargas elétricas das esferas” (p.35).

Por outro, avaliamos que a imagem representativa da “balança de torção” neste livro é exposta apenas para que o leitor tenha uma visão parcial da estrutura da mesma. Entretanto as omissões de detalhes na imagem, e que são mencionados no texto, promovem um entendimento vago dos resultados descritos.

Percebe-se que os inconvenientes encontrados nos livros didáticos tais como, ausência de elementos nas imagens, mas que são descritos no texto; abordagem textual simplória que não é suficiente para explicar os elementos da imagem em sua totalidade, ou apenas a utilização da imagem sem nenhuma descrição textual, (ressaltando que a imagem a ser analisada não é uma imagem trivial para entendê-la em todos os seus aspectos sem uma descrição condizente); relações antagônicas entre texto e imagem. Contrapõe exatamente a ideia de Perales e Jimenez (2002) ao defenderem que as imagens trabalhadas em conjunto com o texto ao qual se refere, propicia uma melhor compreensão das informações, desde que alguns requisitos sejam estabelecidos: cada elemento da imagem corresponda à descrição textual a que se refere, os textos devem ser complexos e articulados.

Por outro lado confirma a afirmação de Belmiro (2000) de que a abordagem textual nos livros didáticos está sempre divergindo da imagética, a relação de entendimento nem sempre é estabelecida, e por vezes a imagem em nada completa o texto, quando não retira seu sentido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das análises realizadas nos livros didáticos mencionados, sob os aspectos histórico-conceituais ligados à lei de Coulomb e imagéticos sobre a balança elétrica, pode-se antes de tudo se observar que alguns equívocos mencionados em livros didáticos, descritos em outras pesquisas anteriores, citadas neste trabalho, também se fazem presentes no conteúdo da eletrostática, destacando a lei de Coulomb. Desta forma, nota-se que este paradigma perdura nos livros didáticos de física a julgar pelas edições mais antigas e as atuais.

Destacando a abordagem do desenvolvimento conceitual da eletrostática agregado ao contexto histórico, foi observado que a maioria dos livros submetidos à análise, exceptuam completamente tal abordagem, e tendem a enaltecer a figura do Coulomb como único privilegiado neste processo, e quando buscam estabelecer alguma relação entre o desenvolvimento conceitual agregado a parte histórica, fazem de maneira vaga e distorcida, situando apenas os resultados alcançados por certos cientistas renomados, ocultando todo o processo de construção das ideias físicas e conseqüentemente da ciência.

Além do contexto histórico, percebe-se também que os livros ocultam os procedimentos tal como foram realizados por Coulomb, em termos da construção, operações e observações através da balança elétrica que propiciaram os resultados apresentados a Academia de Ciências da França, que culminaram na formulação da Lei Fundamental da eletrostática, denominada Lei de Coulomb. Isto de certa forma pode corroborar para entendimento distorcido do método científico, além de promover uma concepção errônea do trabalho do cientista, que em sua natureza real é produto do esforço, da pesquisa, da dedicação e do aprimoramento de ideias.

Com relação à conexão do texto principal e a imagem, percebe-se de acordo com os resultados que estas são muito vagas e por vezes antagônicas, o que sugere que autores dos livros inserem a imagem da balança elétrica como possibilidade talvez de enfeitar o livro, na tentativa de deixá-lo mais atrativo, haja vista que nas análises, não foi observado nos livros um interesse em representar a realidade, acerca de ilustrações fieis da balança de torção, que corroborasse com uma descrição textual complexa.

Nota-se também que as representações imagéticas da balança de torção na grande maioria dos livros se mostram muito simplificadas, deficientes em termos de ilustrar a estrutura física da balança, e longe de representar a realidade, porém vale ressaltar que no caso da balança elétrica, por ser um experimento bastante complexo e detalhado, por mais icônica que seja a representação da mesma, ela só será entendida em sua complexidade se trabalhada em conjunto com uma abordagem textual ampla.

Adaptando a ideia de Teixeira e Krapas (2005) da transposição didática para o caso das imagens, pode-se supor também que a ausência de uma representação realista advinda do esforço científico, além de não propiciar uma aprendizagem adequada, pode expressar uma relação antagônica entre os resultados científicos e suas adaptações para o ensino.

Acredita-se também que o professor tem papel fundamental, tanto na função de selecionar o material que julgar mais adequado para suas aulas como também estar atento nas informações presentes nos livros didáticos, não devendo se acomodar em basear suas aulas apenas na reprodução dos conteúdos de livros didáticos, que de certa forma são escassos de informação, pautadas apenas em resultados prontos e imutáveis. Neste sentido acredita-se ser imprescindível que o mesmo tenha uma formação que lhe subsidie com elementos essenciais e lhe permita atuar na ruptura de concepções tradicionais inconvenientes.

De maneira abrangente pode-se conjecturar que a lei de Coulomb é um belo exemplo de instrumento para se trabalhar de maneira integrada diversos elementos que agregam a ciência, haja vista que é possível explicar o desenvolvimento histórico da eletrostática em termos de controvérsias, evolução das ideias científicas, além do desenvolvimento conceitual agregado a experimentação e ao embasamento teórico; vislumbrar a ciência como uma construção humana e coletiva, ou como explana Martins (2006) “a ciência acaba por influenciar e sofre influência da sociedade”, exaltando um caráter não estático, mas resultante do esforço e da pesquisa. Porém os livros didáticos em sua maioria, tais como foram analisados, deixam de lado tal possibilidade e abordam a lei de Coulomb de maneira simplória, pautada numa descoberta feita por Coulomb utilizando uma balança, numa determinada época.

Percebe-se que há uma preocupação maior por parte dos autores dos livros analisados em citar apenas os resultados alcançados por Coulomb, sem nenhuma

preocupação quanto ao processo como um todo, e de certo modo, por “irem com muita sede ao pote” cometem certos equívocos, tais como foram observados e que passam despercebidos.

Tais equívocos, no entanto, interferem diretamente na aprendizagem, pois de acordo com Gução et al (2008), podem levar os alunos à aquisição de conhecimentos equivocados e escassos em relação ao processo científico e da história da ciência, além de apresentarem uma visão mitificada e distorcida da ciência e do cientista.

Em torno dos resultados presentes nesta e em outras pesquisas dedicadas a analisar conteúdos de livros didáticos, pode-se levantar certa dúvida sobre a eficácia dos processos de elaboração e avaliação dos livros didáticos. Por outro lado, deve-se perceber como bem situam Perales e Jimenéz (2002), que o livro didático também é uma mercadoria, pela qual as empresas editoriais competem entre si para dominar o mercado, visando como bem maior o lucro.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, A. K. T. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**. Montreal: Apeiron, v. 1, 2010, 274p.
- BELMIRO, C. A.. A Imagem e suas formas de visualidade nos livros didáticos de Português. **Educação e Sociedade**, Campinas, n.72, p. 11-31, 2000.
- BERNAL, J. D. **La proyeccion del hombre. Historia de la Fisica Classica**. Madrid: Editora Siglo Veintiuno, 1975.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação. Uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto Editora, 1994, 336 p.
- BRASIL. Ministério da Educação e do desporto. Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 1999.
- CAMPANARIO, J. M.? Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales. **Enseñanza de las Ciências**, v. 19, n. 3, p. 351-364, 2001.
- CARDOSO, H. B.; FREIRE, P.T.C.; FILHO, J.M. Arquimedes e a Lei da Alavanca: Erros Conceituais em Livros Didáticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 23, n. 2, p. 218-237, ago. 2006.
- CARMO, L. A. C.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 7, 2000, Florianópolis, Anais... São Paulo: SBF, 2000, 1CD.
- CARNEIRO, M. H. S. As imagens no livro didático. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**, 1, 1997, Águas de Lindoia, Anais ...Porto Alegre, 1997, p. 366-376.
- COULOMB, C. A. (1785) "Premier Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme. Construction & usage d'une Balance électrique, fondée sur la propriété qu'ont les Fils de métal, d'avoir une force de réaction de Torsion proportionnelle à l'angle de Torsion," **Mémoires de l'Académie Royale des Sciences**. Paris, 1788, 569 - 577.
- DOMINGUINI, L. Física moderna no ensino médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2 p. 2502-1-2502-7, 2012.

FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução: NETZ, S. 2. ed. Porto alegre: Bookman, 2004.

GUÇÃO, M. F. B.; BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Uma Análise do Conteúdo Histórico nos Livros Didáticos do Ensino Médio: ELETROSTÁTICA. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 11, 2008, Curitiba. Anais... São Paulo: SBF, 2008, 1CD.

HEERING, P. History of Science in teaching: Understanding Science by Using replications of historical instruments. Universitat Oldenburg, 1999. Research Groupe on Higher Education and History of science. http://www.physic.unioldenburg.De/ehf/HISTODID/selfpres_e.html.

HÖTTECKE, D. How and what can we learn from replicating historical experiments? a Case Study. **Science & Education**, v.9, p. 343-362, 2000.

JOTTA, L. A. C. V.; CARNEIRO, M. H. S. Malária: as imagens utilizadas em livros didáticos de Biologia. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 7, 2009, Florianópolis, Anais.... Rio de Janeiro: ABRAPEC, 2009, 1CD.

KLEIN, T. A. S.; LABURÚ, C. E. Imagem e ensino de ciências: contribuição da semiótica peirciana para os estudos da representação visual. In: **II Encontro Nacional de Estudos da Imagem**, 2, 2009, Londrina. Anais... Londrina: EDUEL, 2009. v. 2. p. 1-8.

KIPINIS, N. From The Danube to the North Sea. Rediscovering Science Newsletter. Published for Secondary Science Teachers By The Bakken Library Museum. v. 3, n. 1, 1995.

LAMARE, João São Paulo. **Física – 3ª Série**. São Paulo, Livraria Francisco Alves, 1945, 312p.

LARANJEIRAS, C.C. Redimensionando o ensino de física numa perspectiva histórica. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física e Faculdade de Educação da USP. São Paulo, 1994.

LÜDKE, M. e ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

LUDWIG, A. C. W. . A Pesquisa em Educação. **Revista Linhas**, Florianópolis, v. 4, n.2, p. 251-268, 2003.

MARTÍNEZ, A. Replication of Coulomb's Torsion Balance Experiment, **Archive for History of exact Sciences**. 60, pp. 517-565, 2006.

MARTINS, G. A. **Estudo de caso: uma estratégia de pesquisa**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MARTINS, R. A. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: Cibelle Celestino Silva. (Org.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006, v.1, p. xxi-xxxiv.

MAYRING, P. **Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und techniken**. 7 th. Weinheim: Deutschen Studien Verlag, 1983.

MEDEIROS, Alexandre José Gonçalves de. As Origens Históricas do Eletroscópio. **Revista Brasileira de Ensino de física**, vol. 24, nº 3, Setembro, 2002.

MEDEIROS, A. J. G.; MONTEIRO, Jr, F. N. A Reconstrução de Experimentos Históricos Como Uma Ferramenta Heurística no Ensino de Física. Atas do III **Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**, 3, 2001, Atibaia, Anais... Porto Alegre: ABRAPEC, 1 CD.

MEDEIROS, Alexandre José Gonçalves de; MEDEIROS, Cleide Farias de. Questões epistemológicas nas iconicidades de representações visuais em livros didáticos de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 01, p. 103-117, 2001.

MEDEIROS, A. J. G., MONTEIRO, M. A. A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria de Copérnico nos livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 29-52, abr. 2002.

MENDES, J. R. S. O papel instrumental das imagens na formação de conceitos científicos. Dissertação de Mestrado. Faculdade de educação, UNB. Brasília, 2006.

MEIRELES, A. D.; CUNHA, D. E. S. L.; MACIEL, E. M.. Estudo de caso na pesquisa qualitativa em educação: uma metodologia. In: VI Encontro de Pesquisa em Educação, 3, 2010, Teresina, Anais..., Terezina:, 2010.

MOLES, A. **L'image: communication fonctionnelle**. Paris, Casterman, 1987.

MONTEIRO, M. A. discursos de Professores e de livros didáticos de física do nível médio em abordagens sobre o ensino da física moderna e contemporânea: algumas implicações educacionais, 2010, Tese (doutorado) - Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2010.

MONTEIRO, M. A., LISBOA FILHO, P. N. Explorando a Construção do Espectroscópio e Prisma no Contexto Educacional. In: **Seminário Nacional de**

História da Ciência e da Tecnologia, 11, 2008, Niterói, Anais... Niterói: SBHC, 2008, 1CD

MEGID NETO, J., FRANCALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

NIAZ, M.; RODRIGUÉZ, M.A. The oil drop experiment: do physical chemistry textbooks refer to its controversial nature? **Science & Education**, n.14, p. 43-57, 2005.

OLIVEIRA, C. L. Um apanhado teórico-conceitual sobre a pesquisa qualitativa: tipos, técnicas e características. **Revista Travessias**, vol. 2, n. 3, 2008.

PANARARI, R. S.; DEFANI, M. A.; GOZZI, M. E. Análise de atividades experimentais em livros didáticos de ciências. In: IX CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO - EDUCERE e III ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE PSICOPEDAGOGIA - ESBPP, 2009, Curitiba. Anais do IX CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO - EDUCERE. Curitiba: Champagnat, 2009.

PATTON, M. Q. **Qualitative Evaluation Methods**. 7. ed. Beverly Hills, CA: Sage, 1986.

PAULA, R. C. O. ; LARANJEIRAS, C. C.. O Uso de Experimentos Históricos no Ensino de Física: Um Resgate da Dimensão Histórica da Ciência a Partir da Experimentação. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 5, 2005, Bauru, Atas... Bauru: ABRAPEC, 2005, 1 CD-ROM.

PERALES, F.J. e JIMÉNEZ, J.D. Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 20, n. 3, p. 369-386, 2002.

PICCININI, C. L.; MARTINS, I. ; GOUVÊA, G. Aprendendo com imagens. **Ciência e Cultura** (SBPC), v. 57, n.4, p. 38-40, 2005.

PIMENTEL, J. R. Livros didáticos de ciências: a física e alguns problemas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 3, p. 308-318, 2006.

PRESTES, M. E. B.; CALDEIRA, A. M. A. A importância da história da ciência na educação científica. **Filosofia e História da Biologia**, v. 4, p.1-16, 2009.

QUINTAL, J. R.; Guerra, Andreia. Física na História: uma abordagem histórico-filosófica no ensino de ciências. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. Extra, p. 813-816, 2009.

RIBEIRO JÚNIOR, L. A. R.; CUNHA, M. F.; LARANJEIRAS, C. C. Simulações de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das

dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, (4602), 2012.

ROCHA, J. F. M.; RIBEIRO FILHO, A. Aspecto histórico-Conceituais da física no ensino pré e Universitário – o caso do eletromagnetismo da mecânica quântica. **Ideação**, n.3, p.101-129, 1999.

SCAFF, E. A. S. O guia de livros didáticos e sua utilização no Brasil e no estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Educação Pública**, v. 9, n. 15, p. 1-15, 2004.

SEBATA, C. E. ; SANTOS, W. L. P.; CARNEIRO, M. H. S. As imagens em textos didáticos de temas sociais em livro didático de Química: análise de seu papel pedagógico. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 5, 2005, Bauru, Atas... Bauru: ABRAPEC, 2005, 1 CD-ROM.

SELLES, S. E.; FERREIRA, M. S. Influências histórico-culturais nas representações sobre as estações do ano em livros didáticos de ciências. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 1, p. 101-110, 2004.

SILVA, E. N.; TEIXEIRA, R. R. P. A história da ciência nos livros didáticos de física. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 8, p. 9-19, 2009.

TEIXEIRA. A.; KRAPAS, S. Reflexões sobre a transposição didática da lei de Coulomb. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p. 1-5, 2005.

ZANELLI, J. C. Pesquisa qualitativa em estudos da gestão de pessoas. **Estudos de Psicologia** (Natal), v. 7, n. Especial, p. 79-88, 2002.