

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA
MESTRADO EM QUÍMICA**

MARCELO FONSECA PINTO

Da Eletricidade nos Séculos XVII e XVIII às Leis Eletroquímicas de Michael Faraday

Juiz de Fora

2018

Marcelo Fonseca Pinto

Da Eletricidade nos Séculos XVII e XVIII às Leis Eletroquímicas de Michael Faraday

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Química. Área de Concentração: Educação em Química

Orientadora: Profa. Dra. Ivoni de Freitas Reis

Juiz de Fora

2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Pinto, Marcelo Fonseca.

Da eletricidade nos séculos XVII e XVIII às leis eletroquímicas de Michael Faraday / Marcelo Fonseca Pinto. -- 2018.

84 f.

Orientadora: Ivoni de Freitas Reis

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós Graduação em Química, 2018.

1. Michael Faraday. 2. História da Ciência. 3. Eletroquímica. I. Reis, Ivoni de Freitas, orient. II. Título.

À Ingrid, meu porto seguro...

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar oportunidade de viver e realizar meus sonhos.

Aos meus pais, que dedicaram cada minuto de suas vidas para me oferecer, desde o início, uma educação de qualidade. Agradeço também por sempre apoiarem minhas escolhas.

À minha esposa Ingrid, pela parceria, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos desde o início da nossa graduação, sempre me apoiando, me incentivando a lutar e superar minhas limitações.

À minha orientadora Ivoni, que acreditou em minha capacidade desde o início de nossos trabalhos e me encorajou a seguir firme nessa longa trajetória da História da Ciência.

Ao professor João Reis, pelos conselhos, pela amizade, pelas contribuições dadas a esta pesquisa e por dividir uma pequena parte de seu imenso conhecimento quando se trata de Michael Faraday.

Aos meus colegas do Grupo de Estudos em Educação Química da UFJF, pelos momentos de descontração, de companheirismo, de experiências e trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Química da Universidade Federal de Juiz de Fora.

À Capes pelo apoio financeiro.

“Viver é enfrentar um problema atrás do outro. O modo como
você o encara é que faz a diferença.”
Benjamin Franklin

RESUMO

Esta dissertação foi desenvolvida a partir de uma revisão histórica dos trabalhos de Michael Faraday (1791-1867) referentes à teoria da eletrólise e suas leis eletroquímicas. De maneira interligada, efetuamos uma análise da evolução dos conceitos da eletricidade nos séculos XVII e XVIII tais como, teorias elétricas e a concepção da garrafa de Leyden, os estudos sobre eletricidade estática e sua transmissão, a pilha voltaica e os fenômenos de decomposição da água. Faraday foi um experimentalista criterioso, observador e crítico. Podendo se amparar na grande estrutura oferecida pela *Royal Institution of Great Britain* em Londres no século XIX, dedicou grande parte de sua vida à ciência e sua consequente popularização através de suas famosas *Lectures*, possuindo um papel fundamental na divulgação da ciência no século XIX. Exercendo cargos de professor Fulleriano de Química desta instituição e professor de Química da Academia Militar Real de Woolwich, pôde praticar sua metodologia de ensino. Suas pesquisas foram compiladas em diversas obras, mas nos dedicamos a analisar principalmente quatro destas, a saber: *Faraday's Diary (Vols. 1 e 2)*, *Experimental Researches in Chemistry and Physics* e *Experimental Researches in Electricity*, enfatizando as séries III a VIII desta última. Optamos por ter essas obras como bibliografias principais, pois sendo obras autorais do pesquisado, caracterizam-se como fontes primárias de pesquisa em História da Ciência, além de possuírem um elevado nível de detalhe em seus textos, nos mostrando aspectos da vivência do cientista, além dos erros e acertos em seus trabalhos. Dessa forma, fomos capazes de vivenciar parte do caminho trilhado por Faraday na elucidação das leis eletroquímicas entre os anos de 1832-34, nos permitindo analisar seus aspectos teóricos e práticos.

Palavras-chave: Michael Faraday, História da Ciência, Eletroquímica.

ABSTRACT

This dissertation was developed from a historical review of the work of Michael Faraday (1791-1867) concerning the theory of electrolysis and its electrochemical laws. In an interconnected way, we analyze the evolution of electricity concepts in the seventeenth and eighteenth centuries, such as electric theories and the Leyden bottle design, studies on static electricity and its transmission, the voltaic cell and water decomposition phenomena. Faraday was a judgmental, observant and critical experimentalist. With the support of the great structure offered by the Royal Institution of Great Britain in London in the nineteenth century, he devoted much of his life to science and its consequent popularization through his famous Lectures, playing a key role in the spread of science in the nineteenth century. Having held positions of Fullerian Professor of Chemistry of this institution and professor of Chemistry of the Royal Military Academy of Woolwich, he was able to practice his teaching methodology. Their research has been compiled in several works, but we focus mainly on four of these, namely: Faraday's Diary (Vols 1 and 2), Experimental Researches in Chemistry and Physics and Experimental Researches in Electricity, emphasizing series III to VIII of the latter. We chose to have these works as main bibliographies, because being works of the researcher they are characterized as primary sources of research in the History of Science, besides having a high level of detail in their texts, showing us aspects of the scientist's experience, besides of errors and correctness in their work. In this way, we were able to experience part of the path taken by Faraday in the elucidation of electrochemical laws between the years 1832-34, allowing us to analyze its theoretical and practical aspects.

Keywords: Michael Faraday, History of Science, Electrochemistry.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Ilustração do gerador eletrostático de Otto von Guericke..... | 17 |
| Figura 2: Esquema ilustrado do funcionamento da Garrafa de Leyden | 20 |
| Figura 3: Garrafa de Leyden feita com uma garrafa de vinho do século XVIII, em meados de 1785..... | 22 |
| Figura 4: Bateria de 35 garrafas de Leyden organizadas em uma caixa de mogno | 23 |
| Figura 5: Eletrômetro de Palha desenvolvido por Alessandro Volta | 26 |
| Figura 6: Ilustração da “ <i>pile à couronne de tasses</i> ” | 28 |
| Figura 7: Ilustração do experimento que Lavoisier utilizou para decompor a água..... | 29 |
| Figura 8: Prédio da <i>Royal Institution – Albemarle Street, London</i> , 1838. | 32 |
| Figura 9: Prédio da <i>Medical Pneumatic Institution</i> | 35 |
| Figura 10: Ilustração de Humphry Davy usando a pilha para realizar a decomposição de sais metálicos..... | 36 |
| Figura 11: Lâmpada de Davy | 38 |
| Figura 12: Vista Antiga da Livraria do Sr. Riebau - Blandford Street, Londres..... | 39 |
| Figura 13: Gerador eletrostático de Michael Faraday | 40 |
| Figura 14: Mapa da viagem de Faraday e Davy | 48 |
| Figura 15: Pilha de Alessandro Volta em exposição na Royal Institution | 51 |
| Figura 16: Cloro líquido selado em uma ampola de quartzo submetido a uma pressão maior que 7,4 bar..... | 55 |
| Figura 17: Ilustração de Michael Faraday realizando experimentos sobre Eletrólise em 1833 | 57 |
| Figura 18: Aparato experimental utilizado por Faraday para se verificar a condução de eletricidade em substâncias fundidas..... | 59 |
| Figura 19: Experimento de Faraday utilizando soluções diferentes na mesma célula eletroquímica | 63 |
| Figura 20: Esquema demonstrativo de como Faraday aprimorava seu conhecimento... | 69 |
| Figura 21: Fotografia de Faraday e Daniell..... | 70 |
| Figura 22: Michael Faraday em uma <i>Christmas Lecture</i> de 27 de Dezembro de 1855. | 71 |
| Figura 23: <i>Royal Military Academy of Woolwich</i> no século XIX..... | 74 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RI – *Royal Institution*

CPS – *City Philosophical Society*

RS – *Royal Society*

MPI – *Medical Pneumatic Institution*

Sumário

| | |
|---|-----------|
| Introdução | 12 |
| Sobre a Metodologia..... | 14 |
| Capítulo 1: O Cenário da Eletricidade nos Séculos XVII e XVIII | 16 |
| Estudos com a Eletricidade Estática..... | 16 |
| O Fluido Elétrico e as Concepções de Joseph Priestley | 18 |
| O Desenvolvimento da Garrafa de Leyden | 19 |
| A Eletricidade no Cenário Científico da América do Norte Colonial..... | 21 |
| A Teoria de Benjamin Franklin para o Funcionamento da Garrafa de Leyden | 23 |
| A Eletricidade Animal de Luigi Galvani..... | 24 |
| A Pilha de Volta | 25 |
| O “Hibridismo” da Pilha Voltaica..... | 30 |
| Capítulo 2: Os Primórdios da Eletroquímica | 32 |
| Humphry Davy e a <i>Royal Institution</i> | 32 |
| Michael Faraday - Dados Biográficos e Estudos Preparatórios | 38 |
| Reflexões Eletroquímicas em Algumas Correspondências de Faraday em 1812 ... | 44 |
| Um Pequeno Relato da Jornada de Faraday e Davy pela Europa | 47 |
| As Contribuições de Faraday para a Ciência Química..... | 51 |
| Capítulo 3: As Leis Eletroquímicas de Faraday | 57 |
| A Nova Lei de Condução Elétrica..... | 57 |
| A Teoria da Decomposição Eletroquímica..... | 60 |
| A Elucidação das Leis de Faraday para a Eletroquímica | 61 |
| Capítulo 4: As Lectures e seu Papel como Educador | 66 |
| O Aprimoramento Científico de Faraday e suas Primeiras Palestras..... | 66 |
| Michael Faraday como Palestrante da <i>Royal Institution</i> | 68 |
| Trabalhos na Real Academia Militar de Woolwich | 71 |
| <i>Observations on Mental Education</i> | 74 |
| Considerações Finais | 77 |
| Referências | 79 |

Introdução

O presente estudo faz um recorte histórico dos trabalhos de Michael Faraday (1791-1867) para a ciência com vistas, principalmente, em suas contribuições para a Química. Embasado nas teorias de eletricidade que o precederam, Faraday trabalha de forma coletiva, na medida em que troca cartas com seus pares, debate em grupos como a City Philosophical Society, estabelecendo uma intensa e rica rede de relações.

O primeiro capítulo desta dissertação aborda conceitos sobre eletricidade estática nos séculos XVII e XVIII através dos estudos de Otto von Guericke (1602-1686), Stephen Gray (1666-1736) e Joseph Priestley (1733-1804). Neste momento, iniciava-se a utilização de alguns termos até então não empregados entre os estudiosos, tais como “condutores” e “não condutores”, além da observação da transmissão da eletricidade através de diferentes corpos. Prosseguimos com a concepção da Garrafa de Leyden, importante instrumento auxiliar do desenvolvimento das pesquisas relacionadas à eletricidade. Inicialmente, sua utilização tornou-se numerosa, objetivando a compreensão de seu funcionamento. Superado este entrave, tanto na Europa quanto na América do Norte, desenvolveram-se trabalhos a fim de aprimorá-lo, pois sua função principal era o fornecimento de cargas em diversos experimentos que estavam sendo desenvolvidos, por Priestley, Benjamin Franklin (1706-1790), entre outros.

Concluimos este capítulo com a divulgação da invenção da pilha voltaica no início do século XIX, que viabilizou melhorias das pesquisas relacionadas à eletricidade, permitindo assim, os estudos que envolviam a decomposição da água e, posteriormente de outras substâncias.

O capítulo II retrata como foram os primórdios das pesquisas eletroquímicas. A consolidação da *Royal Institution of Great Britain* como entidade voltada à pesquisa e desenvolvimento das ciências, contribuiu com o avanço dos estudos eletroquímicos, inicialmente com Humphry Davy (1778-1829) e posteriormente com Michael Faraday. Neste momento do nosso trabalho, abordamos brevemente a formação intelectual do jovem Faraday, suas pesquisas no campo da Química, realizadas inicialmente em parceria com Davy e posteriormente de forma autônoma, além da importância de suas cartas, endereçadas a diversos estudiosos da época, as quais permitiram uma reflexão e consequente discussão de suas teorias. Relatamos brevemente a viagem científica de Davy e Faraday pela Europa entre os anos de 1813 e 1815, a qual foi de suma importância para o nosso pesquisado, visto que ele

vivenciou o contexto científico da época, podendo conhecer alguns estudiosos desse período e suas linhas de pesquisa.

No terceiro capítulo, retratamos diretamente as leis eletroquímicas concebidas por Faraday entre os anos de 1832-34, sendo esse o foco principal do nosso trabalho. O entendimento dos conceitos de corrente elétrica proporcionaram a elucidação dessas leis, sendo um fator decisivo para o entendimento dos fenômenos eletroquímicos pesquisados por Faraday ao longo de aproximadamente uma década. Os experimentos realizados, o levaram a uma nova lei de condução elétrica e a uma nova teoria de decomposição eletroquímica.

No quarto e último capítulo deste trabalho, discutimos sobre o papel de Faraday como educador no auditório da RI, através das famosas *Lectures* por ele proferidas além de seu ofício como professor Fulleriano de Química¹ dessa instituição e como professor de Química da Academia Militar Real de Woolwich. Sua didática é evidenciada por meio de técnicas de leitura, observação, prática docente e experimentação que eram constantemente aperfeiçoadas, visando sempre uma melhor popularização da ciência para a sociedade.

A justificativa para a realização deste trabalho se ampara na carência de estudos de caráter historiográfico que envolve os trabalhos de Michael Faraday relacionados com a Química, sobretudo com o tema de Eletroquímica. A teoria da relação de proporção entre a quantidade de eletricidade e a matéria decomposta que introduziram os estudos quantitativos envolvendo a eletricidade, embora muito utilizada nos conhecimentos físico-químicos, é pouco explorada em trabalhos que englobam a concepção desse conceito.

Em Julho de 2016, fizemos uma revisão bibliográfica através do Periódicos Capes, no qual inserimos os termos “Michael Faraday” e obtivemos 6.686 resultados. Visando aprofundar um pouco nossa pesquisa para as “Leis Eletroquímicas” realizamos novas buscas com os termos “*History of Electrochemical Laws*”, “*Faraday Teaching*” e “*Faraday Lectures*”, obtendo nessa última pesquisa, 144 resultados, em sua maioria relacionada à *Lecture* “A História Química de uma Vela”. Dessa forma, optamos por prosseguir nessa linha de pesquisa, devido ao fato de não encontrarmos trabalhos que versavam sobre como se deu a fundamentação das leis eletroquímicas de Faraday. Objetivando uma melhor contextualização dos assuntos a serem abordados em nosso trabalho, preferimos realizar o estudo sobre a evolução dos conceitos elétricos, entre os séculos XVII e XIX, pois, apesar de encontrarmos diversos trabalhos que abordem esse tema, ele apenas nos serviu como amparo na construção do alicerce das pesquisas eletroquímicas de Michael Faraday.

¹ A cadeira de professor fulleriano da *Royal Institution of Great Britain* foi estabelecida por John Fuller (1757-1834), político e filantropo inglês, que patrocinou diversas pesquisas de Faraday.

Sobre a Metodologia

As palestras conhecidas como “*Christmas Lectures*” que existem até os dias atuais, foram criadas em 1825 com o suporte direto de Faraday. O objetivo dele era divulgar a ciência de forma simples e responsável para o maior número de pessoas possível, incluindo crianças e jovens. Dessa forma, este trabalho se propôs a ter Michael Faraday como estudo de caso, analisando sua biografia, seus trabalhos - em especial os que abordam as leis da eletroquímica - e conseqüentemente sua enorme contribuição para a ciência contemporânea. Todas as traduções realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho são de nossa autoria.

Diversos historiadores da ciência defendem em seus estudos, que a metodologia de História da Ciência é diferenciada, na medida em que não se assemelha nem a metodologia utilizada na história, tampouco daquela utilizada na ciência, nem mesmo se adequa a metodologia utilizada nas pesquisas de ensino, pois cada uma destas grandes áreas já carrega em seu bojo, componentes interdisciplinares. (MARTINS, 2004; ALFONSO-GOLDFARB, FERRAZ, BELTRAN, 2005). Assim, pesquisar a História da Ciência requer conhecimento tanto de epistemologia e filosofia da ciência a que se dedica quanto do contexto histórico e social do momento em que tal conhecimento foi produzido, exigindo uma metodologia capaz de responder por essa urdidura.

Para essa pesquisa, foi realizado um amplo levantamento bibliográfico em materiais que tratavam dos temas: Estabelecimento da Eletricidade dos Séculos XVII ao XIX, Michael Faraday, biografias e metodologia de ensino. Essas pesquisas visavam livros, artigos científicos, documentos de fontes primárias digitalizados, datados dos séculos XVII ao XIX, disponibilizados por bibliotecas internacionais e periódicos renomados.

Procedemos também a um levantamento das obras originais de Faraday disponíveis no site da *Royal Institution of Great Britain*. Neste, encontramos todas as *Lectures*, diversas cartas trocadas entre ele e seus correspondentes, jornais de época, livros de sua autoria e muitos outros documentos, antigos e atuais, mas endossados como de alta confiabilidade pela própria RI.

De posse de todo esse material, fizemos uma prévia seleção de obras que deveriam ser analisadas primeiramente, a fim de contemplar os objetivos propostos.

Especificamente para o estudo biográfico de Michael Faraday, utilizamos importantes obras sobre o cientista, bem como a biografia escrita pelo Dr. Henry Bence Jones “*The Life and Letters of Michael Faraday*” que consiste em uma compilação de algumas cartas que Faraday redigia quase que diariamente para diversos destinatários relatando seus

trabalhos. As obras “*Faraday’s Diary*”, em seus dois primeiros volumes, as quais transcrevem o diário original de Faraday, no qual ele anotava detalhadamente seus experimentos, a obra *Experimental Researches in Chemistry and Physics*, que aborda diversos experimentos feitos nos laboratórios da RI, e o primeiro volume da obra “*Experimental Researches in Electricity*” na qual Faraday descreve os estudos sobre a eletroquímica e a decomposição de substâncias, orientado pelos estudos em eletricidade por ele desenvolvidos, tais obras foram utilizadas para compor nossa pesquisa relacionada à elucidação das leis eletroquímicas além de suas pesquisas com síntese e separação de compostos orgânicos.

A partir dessa seleção, iniciamos o processo de análise da metodologia de trabalho de Michael Faraday tanto nos laboratórios, como nos trabalhos teóricos. Conforme mencionamos, o viés educador em Michael Faraday tem, para nós, fundamental importância. Dessa forma, buscamos informações sobre seus trabalhos como Professor Fulleriano de Química, na RI e como professor de Química da Academia Militar de Woolwich entre os anos de 1830 e 1851 para melhor entendermos como funcionava sua didática de ensino.

Capítulo I

O Cenário da Eletricidade nos Séculos XVII e XVIII

Estudos com a Eletricidade Estática

Estima-se que os primeiros estudos sobre a natureza elétrica e a eletricidade datam de 1600, em Londres, quando William Gilbert (1544-1603), médico e naturalista inglês, publicou pela primeira vez, sua obra intitulada, *De Magnete Magneticisque Corporibus, et de Magno Tellure; Physiologia Nova, Plurimis & Argumentis, & Experimentis Demonstrata*. Esta obra, organizada em seis livros, foi baseada em experimentos e observações tidas como reais, de acordo com o próprio autor. (MAGALHÃES, 2006)

Ele realizou um grande estudo listando parte dos corpos elétricos e nos quais estes corpos poderiam atuar, além de observar cuidadosamente importantes circunstâncias sobre esta ação, embora sua teoria sobre a eletricidade fosse de certa forma, imprecisa. Gilbert defendia que a atração exercida por dois corpos elétricos, era comparada com a coesão de duas gotas de água, por exemplo. Quando estas eram colocadas para escorrer com certa proximidade, se juntavam formando uma única gota. Os corpos elétricos eram atraídos após sofrerem uma excitação pelo contato. (PRIESTLEY, 1775)

Reconhecido como o primeiro estudioso a propôr os termos, “elétrico” e “não elétrico”, Gilbert relatou em seus escritos que, elétricos eram os materiais que apresentavam propriedades de atrair pequenos objetos quando eram submetidos ao atrito, e não elétricos eram os demais materiais que não continham essa propriedade.

As pesquisas de Otto von Guericke (1602-1686) realizadas em 1660, se baseavam justamente nessa capacidade de geração cargas elétricas por fricção. Ele desenvolveu um aparato experimental que consistia de uma esfera de enxofre com um eixo central, podendo ser girado facilmente. Friccionando com o suporte de madeira no qual a esfera era apoiada, as cargas elétricas eram geradas. Este equipamento possuía a vantagem de gerar grandes quantidades de cargas, podendo ser construído em menor escala facilitando assim, o seu transporte. (HACKMANN, 1978)

Figura 1: Ilustração do gerador eletrostático de Otto von Guericke



FONTE: [HTTP://WWW.COE.UFRJ.BR/~ACMQ/ELESTROSTATICA.HTML](http://www.coe.ufrj.br/~acmq/eletrostatica.html)

No início do século XVIII, Stephen Gray (1666-1736) realizou experimentos relacionados com a verificação da transmissão da eletricidade e de eletrização por contato, assim como, propôs a existência de materiais que seriam classificados como condutores e não condutores. Outro experimento realizado por esse estudioso foi a eletrização da superfície de um volume determinado de água, o qual foi publicado no *Philosophical Transactions of The Royal Society* de 1732, repetido e confirmado por Charles François De Cisternay Du Fay (1698-1739), que afirmou em 1735, em uma carta enviada a *Royal Society* (RS)² que um corpo eletrizado repele outros corpos eletrizados e atrai corpos não eletrizados. Du Fay reportou também, nessa carta, a existência de dois “tipos” de eletricidade, a vítrea e a resinosa, classificação esta, feita por ele e baseada no comportamento elétrico distinto de alguns materiais analisados. Na mesma correspondência ele afirma que corpos carregados com eletricidade idêntica se repeliam e com eletricidades diferentes se atraíam. Atualmente, sabe-se que em situações específicas, o mesmo material pode ser carregado com cargas negativas ou positivas dependendo em qual material ele é atritado. Tomando como referência a série triboelétrica³, a classificação de Du Fay funciona somente para os extremos dessa lista. (BOSS, CALUZI, 2007)

² A *Royal Society* de Londres, fundada em 28 de Novembro de 1660 por filósofos naturais da época, tais como Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooke (1635-1703), John Evelyn (1620-1706), tendo o soldado escocês e também filósofo natural Robert Moray (1609-1673), como o primeiro presidente. É uma instituição intencionada em reconhecer e promover o conhecimento científico, encorajando o desenvolvimento da ciência em benefício da humanidade.

³ A série triboelétrica classifica os materiais que se eletrizam por atrito. Consiste em uma listagem de materiais em ordem crescente quanto à possibilidade de perderem elétrons. Quanto maior a facilidade de adquirir cargas positivas, mais alta é a sua posição nessa tabela.

O Fluido Elétrico e as Concepções de Joseph Priestley

Joseph Priestley nasceu em *Birstall*, no condado de *West Yorkshire* nas proximidades de *Leeds*, Inglaterra, em 13 de Março de 1733. Seu pai, Jonas Priestley (1700-1779), descendia de família presbiteriana de fazendeiros e *clothiers*⁴. Quando tinha apenas um ano de idade foi enviado para viver com seu avô para diminuir as despesas da família, retornando cinco anos mais tarde após a morte de sua mãe, Mary Priestley (1702-1739). Após um novo casamento de seu pai, foi morar com seus tios, que, possuindo grande poder aquisitivo, lhe permitiram frequentar as melhores escolas da região. Seu legado para os estudos da eletricidade iniciou-se na Academia Warrington⁵ entre 1761 e 1767, após se encontrar com alguns experimentalistas da época, tais como John Canton (1718-1772), Willian Watson (1715-1787) e Benjamin Franklin, sendo incentivado por estes a seguir nas pesquisas elétricas. Seus trabalhos foram tão elogiados, que Priestley foi indicado para uma bolsa da RS em 1766. (THORPE, 1906)

Os estudos sobre eletricidade realizados por ele tinham como suporte as ideias de Du Fay, que defendiam a existência de dois tipos de fluidos elétricos, os quais percorriam sentidos opostos. No entanto, os conceitos sustentados por Franklin, de um único tipo de fluido elétrico, foram amplamente pesquisados por Priestley, que manteve contato frequente com este através de cartas e de alguns encontros pessoais. (OLIOSI, 2010)

Priestley se dedicou, a verificar várias questões que estavam em aberto, liderando um grande campo de investigação experimental arcando com as despesas de seus experimentos. Dentre essas pesquisas, verificou que o carvão vegetal era um bom condutor de eletricidade, identificou que um circuito elétrico longo é pior condutor de eletricidade do que um circuito pequeno mesmo quando se utilizava os mesmos condutores. Mantendo contato frequente com B. Franklin, conforme mencionamos, acreditamos que esta troca de opiniões com o já bem instituído pesquisador da eletricidade e seus efeitos, o auxiliaram a concluir sua obra “*The History and Present State of Electricity*”, em menos de um ano, sendo esta bem aceita na comunidade científica.

Nesta obra, Priestley descreveu a reprodução de experimentos realizados pelos mais diversos estudiosos da época, tais como os estudos feitos por Francis Hauksbee (1660-1713), quando este construiu um aprimorado gerador de von Guericke feito em vidro, o qual

⁴ Expressão usada para definir profissões relacionadas à cultura têxtil, sendo fabricantes e comerciantes de tecidos.

⁵ Uma das primeiras escolas para dissidentes ingleses, que eram grupos que defendiam uma reforma mais profunda da Igreja Anglicana. Fundada em 1756, funcionou por cerca de trinta anos, quando cedeu lugar a criação da *Manchester Academy*. (O'BRIEN, 1989)

permitia uma maior geração de cargas por atrito. Analisou também, dentre outros, os experimentos elétricos de Grey e Du Fay, obtendo novas conclusões e observações acerca destes, expressando no texto sua minuciosa interpretação e observação desses estudos.

O Desenvolvimento da Garrafa de Leyden

Somente em 1745, Ewald Jürgen von Kleist (1700-1748) realizou experimentos com um dispositivo que acumulava e armazenava a eletricidade com o objetivo de se ter uma boa e intensa fonte para a realização de outros experimentos. Esse dispositivo consistia em um frasco de vidro preenchido com água no qual era inserido um fio ligado a uma máquina elétrica⁶. De acordo com as conclusões do autor, as cargas elétricas ao serem transferidas para a água poderiam ser utilizadas posteriormente. (DORSMAN, CROMMELIN, 1957)

Este experimento chegou a ser publicado em 1746, mas manteve-se praticamente desconhecido fora da Alemanha. Também em 1745, de forma totalmente independente, Petrus van Musschenbroek (1692-1761), professor da Universidade de Leyden na Holanda, fez um experimento semelhante, cerca de nove meses antes do experimento de von Kleist. No entanto, a ideia utilizada por ele, foi a de colocar o condutor dentro de um vaso não condutor, a princípio o objetivo seria mantê-lo carregado, pois o próprio Petrus afirmava que os condutores perdiam a carga para a “suposta” condutividade do ar. (DORSMAN, CROMMELIN, 1957)

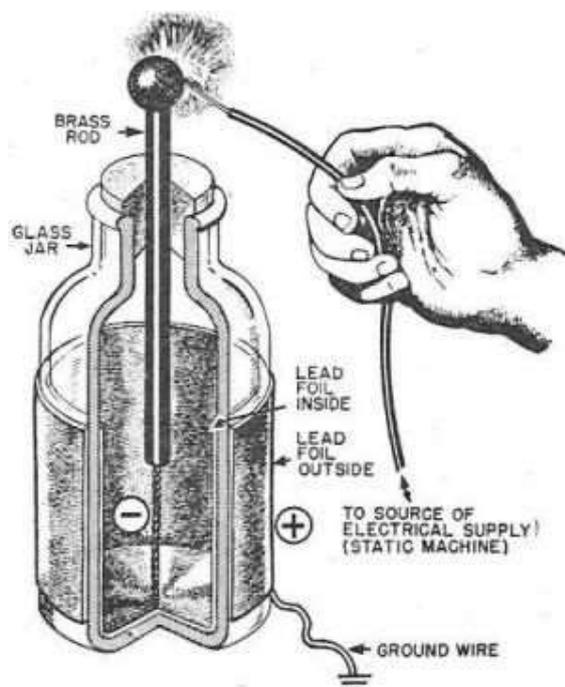
Após alguns experimentos, o auxiliar de laboratório de Petrus van Musschenbroek, Andreas Cunaeus (1743-1797) - de acordo com os estudiosos Cornelis Dorsman e Claude August Crommelin (1957) - acidentalmente tocou o fio e, as cargas foram descarregadas violentamente em seu corpo. Nos anos subsequentes, não foi possível explicar o experimento de forma satisfatória, mas o fenômeno, principalmente o choque, foi o principal atrativo da época, se tornando famoso por toda a Europa. Petrus não chegou a fazer uma publicação nem reivindicar a autoria desse experimento, se restringindo a descrevê-lo brevemente em seus livros. (DORSMAN, CROMMELIN, 1957)

O funcionamento das garrafas de Leyden foi por um longo tempo, incompreendido, apesar destas, serem constantemente aperfeiçoadas. Nos tempos de Benjamin Franklin a natureza da eletricidade ainda era uma questão em aberto. Estudiosos diversos e os chamados filósofos naturais debatiam constantemente se a eletricidade seria uma

⁶ Máquina elétrica ou eletrostática é um instrumento capaz de gerar eletricidade em alta tensão. As primeiras máquinas de atrito foram desenvolvidas para a produção de uma quantidade considerável de eletricidade e acredita-se que praticamente todas as pesquisas relacionadas à eletricidade nos séculos XVII e XVIII foram feitas com o auxílio deste importante instrumento, sendo um dos pilares para a confecção da Garrafa de Leyden.

exalação, uma espécie de fogo ou até um espírito. Desde a antiguidade, nos escritos gregos anteriores à nossa era, as atrações eletrostáticas já eram investigadas no âmbar⁷. Portanto, para os estudiosos dos séculos XVII e XVIII, os intrigantes fenômenos da atração e da repulsão de alguns objetos, como pedaços de papel, a produção de faíscas e estalos sonoros, assim como o armazenamento da eletricidade e também sua transferência, já eram bem conhecidos, mas a garrafa de Leyden continuava sendo um problema a ser resolvido. (SCHECHNER, 2015)

Figura 2: Esquema ilustrado do funcionamento da Garrafa de Leyden



FONTE: [HTTP://DIARIUM.USAL.ES/ELENAMORO/2015/03/16/BOTELLA-DE-LEYDEN/](http://diarium.usal.es/eLENAMORO/2015/03/16/BOTELLA-DE-LEYDEN/)

Atualmente, sabemos que a garrafa de Leyden possui funcionamento semelhante a um capacitor, pois armazena cargas opostas separadas por um dielétrico. Para ser carregada, uma Garrafa de Leyden tinha sua superfície externa aterrada e se aproximava do condutor superior (bulbo metálico) o fio ligado ao gerador eletrostático, dessa forma a parede externa possuía o mesmo número de cargas fornecidas pelo gerador, mas com sinal oposto. Nos modelos concebidos no século XVIII, o vidro da garrafa exercia essa função de acumular cargas opostas nas superfícies interna e externa, que ao serem colocadas em contato por um

⁷ O âmbar é uma resina fóssil, proveniente principalmente dos pinheiros, muito usada para a manufatura de objetos ornamentais. Tem qualidades elétricas, atuando muitas vezes como um ímã, contando assim com um poder de atração magnética, daí este termo provir do grego 'elektron', que deu origem igualmente à expressão eletricidade.

condutor metálico, através da sua lateral externa e do bulbo metálico superior, o qual era ligado à parede interna, sofria um repentino descarregamento.

A Eletricidade no Cenário Científico da América do Norte Colonial

A manipulação de aparelhos elétricos no século XVIII na América do Norte colonial era muito restrita. A política britânica de dependência de produtos ingleses não proporcionava a abertura de empresas em solo americano, e as poucas que existiam eram limitadas a produtos primários. No estado da Filadélfia, era possível se ter acesso às garrafas fabricadas pela empresa Wistarburgh Glass Works⁸, de Nova Jersey, mas estas não eram fabricadas com a finalidade de serem utilizadas em experimentos elétricos, dessa forma, os que queriam instruir-se nos fenômenos da eletricidade tinham que recorrer a estudiosos ingleses endereçando cartas a George Adams⁹ ou Benjamin Martin¹⁰ por exemplo, em Londres. No entanto, o tempo de espera, a despesa para se importar aparelhos, forçavam os colonos na maioria das situações a se contentarem com qualquer equipamento que pudesse ser trazido consigo em viagens. (SCHECHNER, 2015)

O vidro da Wistarburgh era produzido usando uma fórmula antiga, conhecida como vidro da floresta¹¹, que o tornava verde e com alto índice de impurezas em sua composição. Portanto era impróprio para serem utilizados na construção de garrafas de Leyden, devido a sua fragilidade estrutural. Na Europa, os vidros eram feitos a partir de outras matérias primas, produzindo vidros transparentes e bem mais resistentes. (SCHECHNER, 2015)

⁸ Empresa fundada por Caspar Wistar (1696-1752), um fabricante de vidros alemão que se abrigou no estado da Pensilvânia se tornando um dos primeiros colonos alemães a se instalar nesse estado americano.

⁹ George Adams (1750-1795), escritor e óptico inglês. Fabricou diversos instrumentos matemáticos e científicos para o Rei George III (1738-1820), instrumentos estes que atualmente estão no museu de ciência de Londres.

¹⁰ Benjamin Martin (1704-782), filósofo, um dos mais proeminentes matemáticos da época, assim como fabricante de instrumentos científicos, conferencista popular e autor.

¹¹ O chamado vidro da floresta, do alemão *Waldglas*, tem essa denominação por causa dos artesãos de Veneza que se expatriaram para a Alemanha, se instalando nas florestas da Bavária e da Bohemia, onde produziam esses vidros esverdeados.

Figura 3: Garrafa de Leyden feita com uma garrafa de vinho do século XVIII, em meados de 1785.



FONTE: COLEÇÃO DE INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS HISTÓRICOS, UNIVERSIDADE DE HARVARD

Um evento que merece destaque foi a escrita de uma carta que o professor John Winthrop (1714-1779) - professor de matemática e filosofia natural da Universidade de Harvard - enviou a Thomas Hubbard (1702-1773), tesoureiro de Harvard que era também nessa época, orador da Casa de Representantes de Massachusetts. Winthrop relatou na carta que "as garrafas de vidro que nos foram enviadas a alguns anos da Pensilvânia se quebraram quase tão logo colocamos as suas tampas de madeira". (SCHECHNER, 2015, p.7)

De acordo com esse relato do professor Winthrop, pôde-se evidenciar a fragilidade dessas garrafas que eram disponibilizadas para a montagem de garrafas de Leyden. A carta continha um pedido formal para que se entrasse em contato com Benjamin Franklin que estava em Londres solicitando ajuda para se aprimorar a fabricação das garrafas de Leyden. O próprio professor fez algumas sugestões, como por exemplo, utilizar garrafas menores ou então cortar seus gargalos, tornando-as mais resistentes. Por diversas vezes, Hubbard encaminhou o memorando do Professor Winthrop ao agente de Harvard em Londres, que conseguiu contatar Benjamin Franklin somente seis meses depois, em abril de 1758. Franklin adquiriu os materiais para fazer uma bateria de 35 garrafas como o professor Winthrop havia sugerido. Estava incluída no pedido, além dos frascos de vidro, uma caixa de

mogno, aproximadamente 2 quilos de folha de estanho, fios e rolhas de madeira. De posse de todo o equipamento necessário, Franklin manufaturou essa bateria, ela não foi comprada de um dos fabricantes de instrumentos de Londres, mas foi feita, com dedicação, e continha muita pesquisa associada, na qual Franklin e Winthrop colaboraram na sua concepção e construção. (SCHECHNER, 2015)

Figura 4: Bateria de 35 garrafas de Leyden organizadas em uma caixa de mogno



FONTE: AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY.

A Teoria de Benjamin Franklin para o Funcionamento da Garrafa de Leyden

A superfície de vidro da garrafa de Leyden continha uma considerável quantidade do até então chamado “fluido elétrico”. As cargas eram igualmente divididas entre os dois lados da garrafa, interno e externo, de forma que ficavam em quantidades iguais nas duas superfícies, mesmo quando se aumentava a quantidade em um lado, o outro teria uma proporção igual. Obrigatoriamente, como se tinha carga positiva de um lado, as cargas negativas estariam do lado oposto a estas. O “fluido elétrico” não podia ser impelido de forma a sair do outro lado. (ADAMS, 1785)

Geralmente, o aumento da quantidade de carga deveria ser feito adicionando-a em uma das superfícies da garrafa de modo que uma quantidade igualitária escapasse pela superfície oposta. Essa alteração era efetuada revestindo-se as duas superfícies com um

material não elétrico cuja interposição era capaz de transmitir a carga para cada ponto da superfície que estávamos tentando carregar, na qual exercia a atividade de repulsão das partículas elétricas, naturalmente pertencentes ao outro lado. (ADAMS, 1785)

O aterramento de uma das superfícies descarregadas da garrafa tinha de ser feito com o intuito de evitar a fuga da carga pelo contato do material não elétrico com uma das superfícies da garrafa, enquanto se carregava a superfície oposta. Conforme já foi dito, era possível saturar a garrafa com uma quantidade de carga considerável. De acordo com George Adams, neste instante, “as duas superfícies estariam em um estado de violência enorme”, sendo a superfície externa carregada positivamente e o lado interno da garrafa carregado negativamente, sendo capaz de atrair as cargas que perdia. Nenhum dos lados da garrafa conseguia realizar uma alteração do seu estado sem que o lado oposto participasse dessa alteração. (ADAMS, 1785, p.116)

A proximidade das superfícies não influenciava no descarregamento da garrafa, pois de certa forma, o vidro da garrafa é impermeável para o “fluido elétrico” apesar de permitir a ação de uma ligação direta entre eles causando o descarregamento repentino da Garrafa de Leyden. (ADAMS, 1785)

A Eletricidade Animal de Luigi Galvani

Aproximadamente meio século após o desenvolvimento da garrafa de Leyden, em meados de 1789, o professor de anatomia Luigi Aloisio Galvani (1737-1798), de Bolonha, cidade italiana, atraiu a atenção para uma importante descoberta que ele havia feito. Ao trabalhar com rãs dissecadas e tocá-las com um bisturi, estas sofriam espasmos e contrações. O processo podia ser observado sempre que seu assistente de trabalho tocava o nervo central da rã com um objeto metálico, no entanto deve-se ressaltar que o fenômeno ocorria somente quando uma máquina elétrica estava em funcionamento no laboratório, gerava-se faíscas, observação esta que foi feita primeiramente pela madame Galvani que estava presente no local e informou ao marido, que rapidamente convenceu-se da observação de sua esposa e iniciou os trabalhos buscando a explicação do fenômeno. (HARRIS, 1856)

Após repetir o experimento exaustivamente e de diferentes maneiras, Galvani anunciou à sociedade científica que havia descoberto uma “eletricidade animal”, propriamente dita, levando à conclusão que todos os animais possuíam uma eletricidade intrínseca, produzida pelo cérebro e distribuída pelo restante do corpo através do sistema nervoso, sendo os músculos, os principais armazenadores dessa eletricidade funcionando analogamente como garrafas de Leyden. Talvez Galvani houvesse se precipitado ao anunciar sua hipótese, visto

que ainda não possuía um estudo sólido para tal, no entanto, a sociedade científica italiana a recebeu com muita admiração. O fato que levou Galvani a fundamentar suas pesquisas, foi quando ele preparou as rãs em sua bancada de ferro e as suspendeu através de um gancho metálico preso diretamente à coluna dorsal do animal. Todos os membros do animal se contraíam em contato com o ferro da bancada. Galvani buscou explicar tal fenômeno afirmando que a eletricidade da rã estava se decompondo em eletricidade positiva, que ia para os nervos e a eletricidade negativa, que ia para a musculatura do animal. Embora a teoria da "eletricidade animal" de Galvani tivesse sido recebida com certo entusiasmo inicialmente, não conseguiu se estabelecer entre distintos filósofos que estavam familiarizados com o experimento. (KIPNIS, 2003)

A Pilha de Volta

Dentre esses filósofos, estava Alessandro Giuseppe Anastasio Volta (1745-1827) que era nessa ocasião, professor de filosofia natural em Pavia, cidade localizada ao norte da Itália. Volta chegou a adotar inicialmente o ponto de vista de Galvani, mas abandonou a teoria logo que esta se tornou insustentável do ponto de vista da ciência que ele defendia. Ao repetir as experiências galvânicas, Volta não deixa de comentar, que se Galvani estivesse ciente do poder que as faíscas elétricas tinham na excitação de contrações musculares, ele não teria ficado tão surpreendido ao observar o fenômeno pela primeira vez. (DEVONS, 1976)

Agora, sabemos que as rãs de Galvani estavam sujeitas a eletricidade que era induzida pela operação da máquina elétrica e que animais de sangue frio como sapos e peixes, por exemplo, são extremamente sensíveis a qualquer quantidade de eletricidade que lhe é imposta mesmo após algum tempo de sua morte, condições estas que eram encontradas no laboratório de Galvani. No emprego de dois metais diferentes para se ligar os nervos dorsais da rã às pernas, eram observadas também contrações musculares e nessa situação não se tinha o auxílio da eletricidade comum. (HARRIS, 1856)

Repetindo o experimento de Galvani, Volta tentou determinar inicialmente qual seria a menor força elétrica detectável pela rã, tanto viva quanto dissecada. Em seus experimentos ele obteve uma quantidade tão pequena de eletricidade que não era possível de se visualizar com o mais delicado eletrômetro de palha¹². Deste modo, a rã se mostrou um

¹² O eletrômetro de palha foi desenvolvido pelo próprio Volta no final do século XVIII. Consistia em uma garrafa de vidro que continha duas palhas que ficavam internamente suspensas por um condutor. Quando estavam descarregadas elas ficavam em paralelo pela ação da gravidade, no momento que era tocada por um corpo eletricamente carregado, as duas folhas de palha se afastavam, visto que cargas de mesmo sinal se repelem. Era possível se inferir, de maneira proporcional através do ângulo de afastamento, a quantidade de carga que o equipamento estava recebendo.

detector com uma sensibilidade maior que o eletrômetro, o qual Volta estava habituado a trabalhar.

Figura 5: Eletrômetro de Palha desenvolvido por Alessandro Volta



FONTE: [HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/FIGURE/](https://www.researchgate.net/figure/)

O experimento de Galvani, o qual utilizava metais de diferentes composições em contato com os nervos da rã foi repetido por Volta, levando-o a propor uma nova lei da eletricidade, que ele chamou de eletricidade animal, sendo esta, totalmente autônoma em relação à lei de Galvani. Volta conseguiu visualizar esse fenômeno e aprimorou seus experimentos, utilizando diversos outros animais, tais como lagartos, salamandras, serpentes, pássaros e até lesmas e moscas. Trabalhou com animais vivos, mortos e partes deles. Em algumas situações, uma pequena quantidade do material elétrico era utilizada e mesmo assim se obtinha sucesso no experimento. Volta afirmou que uma descarga elétrica do nervo ao músculo e vice-versa não era obrigatória para se observar a contração muscular, enfraquecendo, portanto, o amparo da teoria de Galvani. (HARRIS, 1856)

Os músculos que tinham contração voluntária eram os mais afetados, pela agora chamada por Volta, de eletricidade metálica¹³. O coração, o qual possui uma contração involuntária não sofreu tanta ação da eletricidade como os demais. Volta fez também uma distinção dos condutores utilizados, classificando-os como secos e úmidos, sendo os secos,

¹³ O termo “eletricidade metálica” foi assim denominado, em relação à eletricidade gerada pelo contato de dois metais diferentes, a qual foi o ponto de partida nas pesquisas desenvolvidas por Alessandro Volta.

metais, carvão e outros minerais; e os úmidos, água, vegetais, ácidos e outros fluidos. (HARRIS, 1856)

O simples contato de diferentes metais leva a uma diferença de potencial, que naquela ocasião, era detectada de maneira eficiente pela rã. Essa diferença, chamada de força eletromotora¹⁴, era, de acordo com Volta, uma espécie de eletricidade natural que as substâncias continham. Colocando um condutor seco entre dois condutores úmidos, sendo os condutores secos compostos de diferentes substâncias, podia se obter uma circulação da força eletromotora através do aparato, em um sentido ou outro, dependendo da combinação dos condutores. Neste momento, podemos considerar que o contato entre dois condutores servem como fonte da força eletromotora e este fato levou as pesquisas de Volta a outro patamar. (HARRIS, 1856)

De posse de muitos dados, após diversos experimentos, Volta conseguiu ordenar a força eletromotora gerada por cada par de metais que havia sido testado em seu laboratório e chegou a seguinte ordem: Prata, Cobre, Ferro, Estanho, Chumbo e Zinco. O disco de prata encontrando-se em uma das extremidades da pilha e o zinco em outra, teríamos a maior força eletromotora gerada na pilha e detectada por ele. (HARRIS, 1856)

Volta organizou em uma pilha de forma a intercalá-los, uma série de condutores metálicos e condutores úmidos que estavam embebidos em uma solução salina. Dessa forma, produziu esse importante instrumento que influenciou grande parte das pesquisas científicas relacionadas à eletricidade que se sucederam. O aprimoramento do experimento continuou de forma a incluir cada vez mais pares metálicos, totalizando 40 pares, quando já era observado um choque considerável que afetava as mãos e braços, chegando a se testar uma pilha com 60 pares zinco/prata. (HARRIS, 1856)

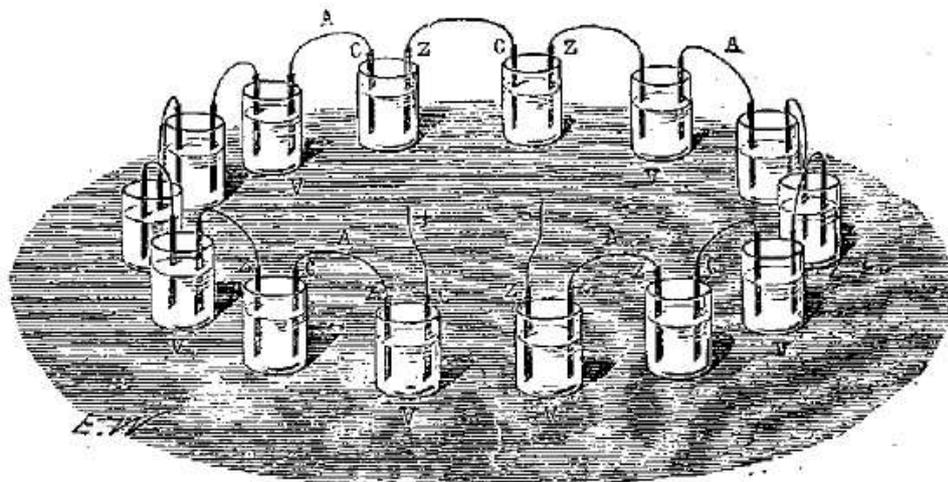
Os problemas se iniciaram quando os condutores úmidos começavam a secar causando um declínio considerável na força eletromotora, ocorria também a formação de óxidos nas superfícies metálicas. O peso da pilha pressionava cada vez mais os condutores úmidos de forma a expulsar a solução salina para fora da pilha. (HARRIS, 1856)

A pilha voltaica assumiu uma forma muito mais eficiente nas próprias mãos de Volta ou até outros estudiosos, tais como Humphry Davy, Thomas Beddoes (1760-1808) e William Hyde Wollaston (1766-1828), consistindo em recipientes de vidro preenchidos com soluções salinas nas quais eram inseridas chapas de zinco e cobre que estariam interligadas

¹⁴ A força eletromotora é a propriedade que um dispositivo elétrico possui de gerar uma corrente elétrica quando ligado a um circuito.

por arcos metálicos. Volta denominou este aparato por “*Couronne de tasses*”¹⁵ do francês coroa de copos, que apresentava o funcionamento semelhante ao protótipo da pilha de discos metálicos, mas era um equipamento muito mais estável e podia concentrar uma tensão muito maior. Volta chegou a montar um aparato com 50 recipientes. (HARRIS, 1856)

Figura 6: Ilustração da “*pile à couronne de tasses*”



FONTE: FIGUIER, L. LES MERVEILLES DE LA SCIENCE OU DESCRIPTION POPULAIRE DES INVENTIONS MODERNES, LIBRAIRIE FURNE JOUVET ET CIE EDITEUR, PARIS, 1867, P.680.

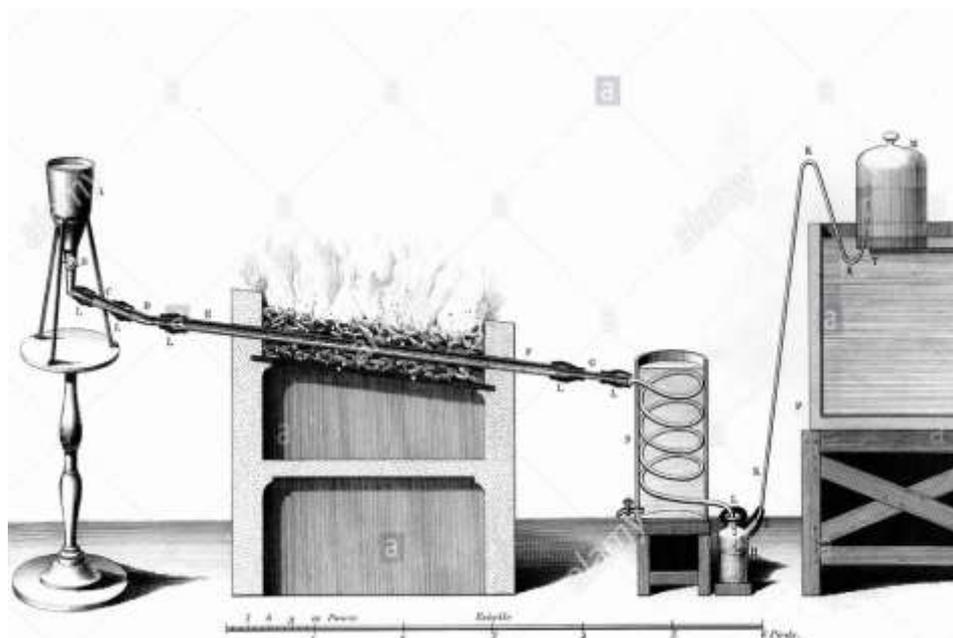
Assim que o artigo “*On The Electricity Excited by The Mere Contact of Conducting Substances*” escrito por Volta, no qual ele anunciou a descoberta desse instrumento, foi lido na RI em 26 de junho de 1800, diversos químicos britânicos iniciaram uma série de outros experimentos. Willian Nicholson (1753-1815) e Anthony Carlisle (1768-1840) foram os mais ativos, não hesitando em construir sua própria pilha para confirmar com sucesso as afirmações do estudioso italiano. Observaram a formação de gás nas extremidades das placas superiores e inferiores, buscando a resposta para tal fenômeno, coletaram esses gases separadamente, constatando que se tratava de hidrogênio¹⁶ e oxigênio. Estes gases já eram estudados por Henry Cavendish (1731-1810) desde 1766, mas essa pesquisa só foi publicada no *Philosophical Transactions* em 1 de Janeiro de 1784 sob o título “*Experiments on Air*”. (HARRIS, 1856)

¹⁵ A “*pile à couronne de tasses*” (do francês, bateria de coroa de copos) era uma ligação em série de várias pilhas em recipientes de vidro. A disposição desses recipientes remetia a figura de uma coroa. (FIGUIER, 1867)

¹⁶ Neste período era chamado de “ar inflamável” por Priestley, Cavendish entre outros.

Ao contrário de Cavendish, que tratava a água como substância simples, Antoine Laurent-Lavoisier (1743-1794) repetiu o experimento, sendo capaz de sintetizar a água queimando o *ar inflamável* - que ele nomeou “hidrogênio” - com oxigênio. Ampliou essa pesquisa, realizando em Junho de 1783, a decomposição da água, passando o seu vapor por um cano de ferro incandescente, obtendo o gás hidrogênio e a cal de ferro. (SIEGFRIED, 1972)

Figura 7: Ilustração do experimento que Lavoisier utilizou para decompor a água



FONTE: [HTTPS://WWW.ALAMY.PT/FOTOS-IMAGENS/LAVOISIER-EXPERIMENT.HTML](https://www.alamy.pt/fotos-imagens/lavoisier-experiment.html)

O panorama científico da eletricidade no final do século XVIII e início do XIX passava por transformações significativas. A utilização de instrumentos aperfeiçoados, capazes de efetuar medidas com maior precisão, era cada vez mais presente nos laboratórios de estudos. A compreensão do funcionamento da garrafa de Leyden, a invenção da pilha e outras pesquisas, como a decomposição da água, abriram espaço para que outras pessoas dedicassem seus estudos a esses temas.

O “Hibridismo” da Pilha Voltaica

A concepção da pilha voltaica em 1799 por Alessandro Volta atravessou rapidamente toda a Europa. Como houve diferentes interpretações sobre esse novo instrumento, Volta escolheu Londres para divulgar oficialmente seu feito. Considerando que, aproximadamente seis anos antes, a RS o havia contemplado com a Medalha Copley¹⁷ por estudos sobre a controvérsia do galvanismo, podemos entender facilmente um dos motivos da escolha da capital britânica para essa divulgação. (PANCALDI, 2009)

Ele apresentou a bateria como um instrumento capaz de simular o funcionamento de um órgão elétrico artificial, devido às semelhanças de efeitos causados pelos peixes elétricos, também conhecidos como torpedos. Essa similaridade era sustentada justamente pelas pesquisas de Volta, que contradisseram as ideias de Galvani, em relação à geração de eletricidade por máquinas elétricas e corpos de animais. (DAVY, 1829)

Nessa apresentação, Volta não mencionou a ocorrência de nenhum fenômeno químico na bateria, mas essa ideia foi rapidamente superada quando experimentadores londrinos começaram a notar a presença de evidências químicas. Dentre esses pesquisadores estava Nicholson, o qual aprimorou a bateria ao incluir um recipiente de água e fios condutores interligados. A bateria destacou-se no sentido de explicar algumas ideias que eram fortemente debatidas em Londres naquele tempo, principalmente a questão da composição e natureza da água, conforme mencionamos. (NICHOLSON, 1801)

O hibridismo da bateria voltaica pode ser ilustrado por diversos paradigmas de interpretação que existiam a respeito desse instrumento. Podemos destacar o primeiro deles quando Volta anuncia a capacidade da bateria reproduzir efeitos causados pelos peixes elétricos, ocasionando uma correlação entre objeto vivo e outro inanimado. A afirmação que a eletricidade gerada pela pilha era apenas semelhante à eletricidade animal foi aceita por muitos, não sendo, portanto, considerada igual, nos levando a outro paradigma, o qual pode ser explicado pelo fato do galvanismo defender a bateria como fonte de eletricidade comum. Outros pesquisadores que ficaram admirados com os fenômenos químicos apresentados pela bateria, foram responsáveis por mais um paradigma da pilha voltaica. A diferenciação entre os fenômenos da eletricidade comum, tais como a atração e repulsão de objetos, e a eletricidade causada pelos fenômenos químicos. Nicholson, foi um dos que rejeitaram a interpretação de Volta para o funcionamento da bateria e através dessa perspectiva química, foi possível se

¹⁷ A Medalha Copley é o maior e mais antigo prêmio oferecido pela *Royal Society*. A premiação é alternada com as ciências físicas e as ciências da vida. Os contemplados são eleitos pelos membros da sociedade. <https://royalsociety.org/grants-schemes-awards/awards/copley-medal/23> setembro 2017.

compreender e explicar os fenômenos ali observados, descontinuando essa dualidade de interpretação. Como foi citada anteriormente, a comparação da bateria com os peixes elétricos, ideia defendida por Volta durante a apresentação do instrumento em Londres, gerou mais uma questão de hibridismo, que seria a comparação de objetos naturais (peixes elétricos) com objetos produzidos pelo homem (bateria). (PANCALDI, 2009)

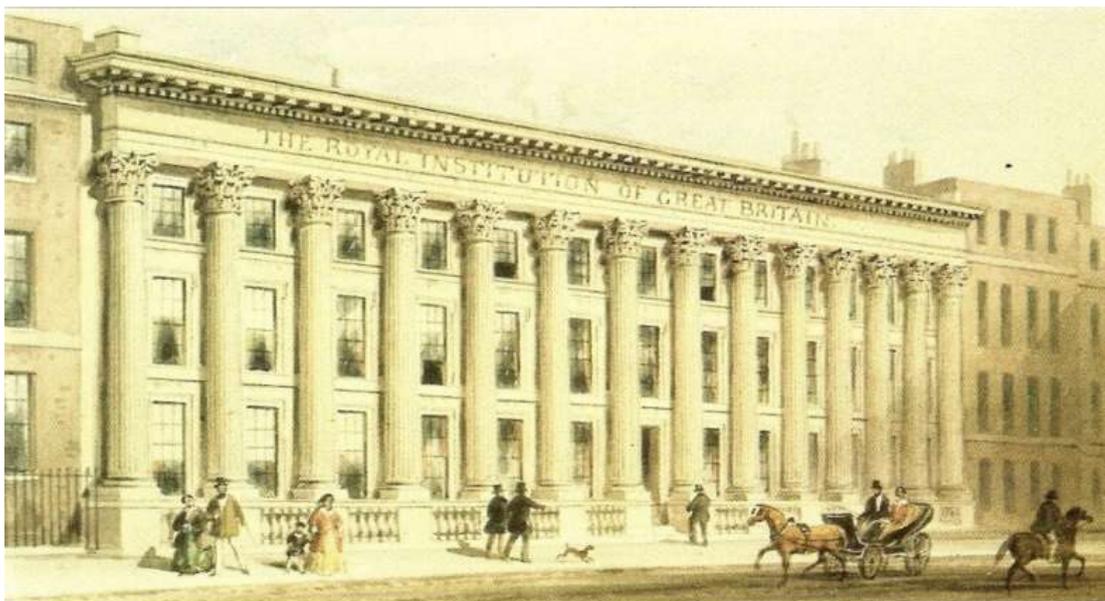
Capítulo II

Os Primórdios da Eletroquímica

Humphry Davy e a Royal Institution

Em 1798, o cientista e estadista americano Benjamin Thompson (1753-1814), também conhecido como Conde Rumford, encontrava-se temporariamente desempregado. Ao ser acusado de espionagem, ele foge da América e vai para Londres, onde ele se torna um cidadão britânico. Thompson tinha planos para criar a *Royal Institution of Great Britain*, que através do apoio do presidente da RS, Sir Joseph Banks (1743-1820), é fundada em sete de Março de 1799. A RI teve como seu primeiro presidente, George Finch (1779-1826), que foi nomeado em Junho de 1799. Em Julho deste mesmo ano, foi adquirido um prédio na “21 Albemarle Street” em Londres, que viria a se tornar a sede da instituição. Rapidamente foi feito o trabalho de construção dos laboratórios, teatros, bibliotecas, salas de estar e de reunião. (THOMAS, 1991)

Figura 8: Prédio da *Royal Institution* – *Albemarle Street, London, 1838.*



FONTE: [HTTPS://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/ROYAL_INSTITUTION](https://en.wikipedia.org/wiki/Royal_Institution)

De acordo com os conceitos do historiador David Knight, o estabelecimento da RI pode ser atribuído principalmente a figuras eminentes como Joseph Banks, Benjamin Thompson e Humphry Davy que de diferentes formas, contribuíram para a implantação e fortalecimento da instituição. (MULATTI, 2008)

O primeiro professor de química da instituição foi Thomas Garnett (1766-1802) o qual proferiu a primeira palestra em Março de 1800, apenas um ano após a aquisição do edifício da RI. No entanto, deixou seu cargo em Junho de 1801, quando publicou um cronograma de palestras sem a prévia autorização dos dirigentes da RI. Seu substituto seria o jovem Humphry Davy, que já trabalhava como seu assistente desde Fevereiro de 1801 e com a saída de Garnett, foi promovido a palestrante em Química. (JONES, 1871)

Humphry Davy nasceu em Penzance, cidade localizada no condado de Cornwall, sudoeste da Inglaterra. Filho de carpinteiro, Davy desenvolveu diversos conhecimentos em Química ao trabalhar como aprendiz do cirurgião e farmacêutico John Bingham Borlase (1753-1813). A amizade com Davies Gilbert (1767-1839), que viria a se tornar presidente da *Royal Society* em 1827, contribuiu para sua formação, visto que, ele dispunha de um laboratório em sua biblioteca particular e o deixou a disposição de Davy a partir de 1797. (BUCI, 2012)

Thomas Beddoes, que nesse período era professor de Química e Geologia em Oxford, se estabeleceu na *Medical Pneumatic Institution* em 1798 e solicitou um assistente para a preparação de gases e auxílio nos experimentos. Gilbert indica Davy para o cargo e este o assume em 2 de Outubro de 1798. (JONES, 1871)

Por meio da supervisão de Beddoes, Davy desenvolveu seu campo de pesquisa que ia da eletricidade estática à química pneumática. No período de consolidação da instituição, eles concentraram suas pesquisas para tentar compreender os efeitos gerados pela pilha voltaica. A primeira publicação de Humphry Davy que abordava conceitos da bateria foi divulgada em meados de 1800 no *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts* e expunha resultados de experimentos realizados com uma bateria de 110 pares metálicos (zinco e prata), construída pelo próprio Beddoes. (DAVY, 1800)

Antes de ingressar na RI, Davy se tornou chefe de laboratório da MPI em 1798, o que lhe permitiu realizar estudos relacionados a gases artificiais nos anos finais do século XVIII, manifestando seus interesses pela investigação da natureza e pela composição da matéria. (BUCI, 2012; BELTRAN, 2008)

Humphry Davy foi um experimentador assíduo quando o assunto era a pilha voltaica, beneficiando-se ao mudar-se para Londres para pesquisar as ações deste instrumento, devido à maior infraestrutura oferecida. Na capital, havia um conjunto de materiais que eram disponibilizados para os pesquisadores dessa área, objetivando o desenvolvimento industrial e as guerras. (PANCALDI, 2009)

Em 1799, ele fez uma reação de decomposição do nitrato de amônio que era aquecido em uma retorta, o gás produzido era coletado e passava através de um recipiente com água a fim de se retirar impurezas. Após produzir cerca de vinte litros desse gás, que hoje conhecemos como óxido nítrico, Davy começou a inalá-lo, podendo observar diversos efeitos provocados em seu corpo tais como, o característico sabor adocicado, aumento de pressão na cabeça, aumento da capacidade auditiva e sensação de dormência nos membros. Davy prosseguiu realizando experimentos com o gás chegando a redigir a obra *Researches, Chemical and Philosophical; Chiefly Concerning Nitrous Oxide, Or Dephlogisticated Nitrous Air, And Its Respiration* com cerca de 600 páginas sobre os estudos com o óxido nítrico, na qual descreve sua síntese, seu efeito nos tecidos animais, assim como a descrição dos resultados de algumas de suas intoxicações. (JAY, 2016)

O seguinte trecho, retirado da obra acima citada, ilustra brevemente um desses episódios de intoxicações por óxido nítrico ao que Davy se submetia.

Em 1799, recrutei o médico Robert Kinglake¹⁸ como meu supervisor para um experimento em que entraria em uma caixa lacrada, na qual seriam introduzidos cinco litros de óxido nítrico. Sentei-me dentro da caixa e absorvi uma mistura de gás e ar por uma hora e quinze minutos, até sentir os conhecidos tremores musculares, o desejo de rir e os pontos luminosos, que eram mais frequentes passando diante de meus olhos. Neste momento, esperava tivesse saturado meu organismo, mas emergi da caixa e comecei a inalar mais vinte litros de óxido nítrico puro. Com essa dosagem, o gás me levou a uma dimensão que não havia visitado anteriormente. As palavras, as imagens e as ideias se misturaram de forma a produzir percepções totalmente novas. Eu não estava mais no laboratório, mas "em um mundo de ideias recém-conectadas e modificadas", onde poderia teorizar sem limites e fazer novas descobertas à vontade. Depois de uma eternidade, fui trazido de volta à Terra quando o Dr. Kinglake retirou o tubo respiratório de minha boca. Me dirigi à Kinglake e disse: Nada existe, senão pensamentos! O mundo é composto de impressões, ideias, prazeres e dores!

(DAVY, 1800, p. 489)

¹⁸ Robert Kinglake (1765-1842) se graduou na Universidade de Göttingen além de estudar na Universidade de Edinburgo. Trabalhou por um período na *Medical Pneumatic Institution* em Bristol, durante o qual auxiliou Davy em algumas pesquisas.

Figura 9: Prédio da *Medical Pneumatic Institution*



FONTE: [HTTP://WELLCOMEIMAGES.ORG/INDEXPLUS/IMAGE/L0001624.HTML](http://wellcomeimages.org/indexplus/image/L0001624.html)

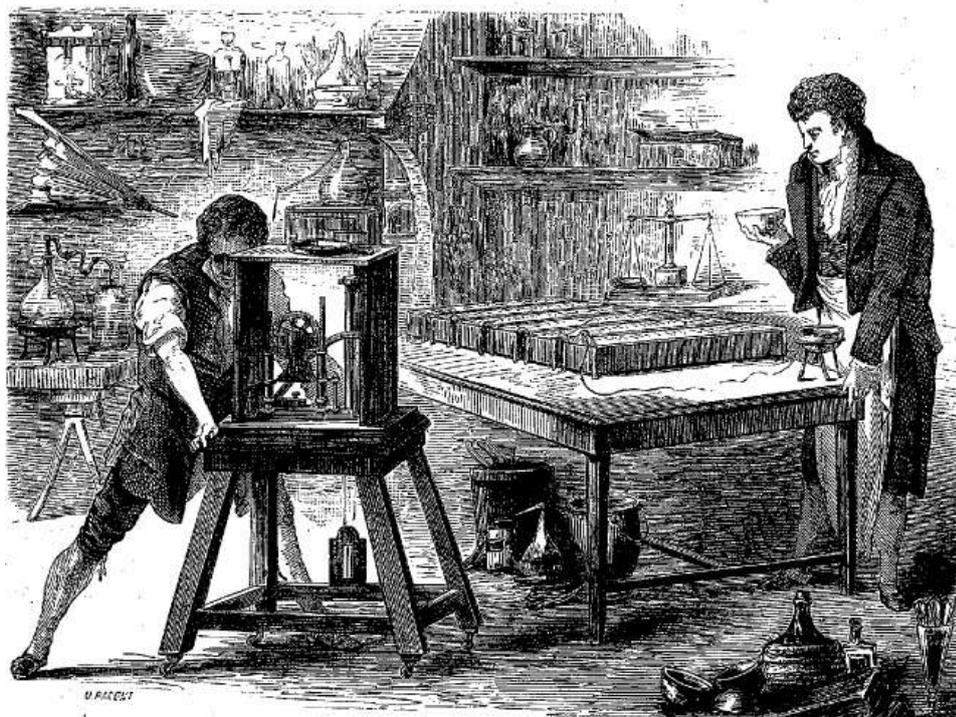
No final de 1800, Davy se preparou para deixar Bristol e assumir seu posto na RI, quando tomou conhecimento dos experimentos feitos por Nicholson e Carlisle, ainda neste ano, os repetiu e obteve novos resultados, que de acordo com o biógrafo John Ayrton Paris (1831) eram mais precisos que os resultados obtidos até então. Davy acreditava que todas as substâncias sendo polares, eram passíveis de sofrer decomposição, dessa forma, aplicou o método de eletrização em diversos compostos. Nos anos seguintes, vários fatos foram acrescentados a essa teoria inicial, por diferentes estudiosos, mas na maior parte, eram contribuições dispersas e descontraídas. A formação de espécies ácidas e alcalinas durante a decomposição da água, por exemplo, gerou muitas especulações, tanto na Inglaterra quanto na Itália¹⁹. (PARIS, 1831)

Em 1801, William Hyde Wollaston, que era membro da RS desde 1793 e atualmente reconhecido por isolar os elementos paládio em 1803 e ródio em 1804, publicou no *Philosophical Transactions of Royal Society* o trabalho intitulado “*Experiments on the Chemical Production and Agency of Electricity*”, no qual defendeu a teoria da oxidação metálica como sendo a causa primária dos fenômenos voltaicos.

¹⁹ Alguns deles explicaram o fenômeno a partir dos sais contidos nos fluidos, outros acreditavam que o ácido estava sendo gerado pela união do “fluido elétrico” com a água ou com parte de seus elementos.

Davy, já ocupando o cargo de diretor do laboratório de Química e, auxiliado pelo trabalho de Wollaston, realizou uma série de experimentos em 1801, para aprimorar a pilha de Volta, alternando as placas metálicas, utilizando outros tipos de fluidos, sendo capaz de observar que, quando se utilizava ácidos e soluções alcalinas, nos experimentos nos quais era aplicada a eletricidade, essas soluções se tornavam eletricamente carregadas. Ele rejeitava parte da teoria de Volta, aquela que afirmava ser a força eletromotora produzida pelo contato entre os metais a principal causa das reações químicas que ocorriam, defendendo que as alterações causadas pela eletricidade, tinham a função de reestabelecer o equilíbrio elétrico que estava sendo perturbado. Através de técnicas produzidas por outros filósofos naturais para se recolher os produtos da decomposição eletrolítica, isolou também alguns elementos químicos utilizando a eletricidade, tais como, o sódio, o potássio, o magnésio, o cálcio e o estrôncio.

Figura 10: Ilustração de Humphry Davy usando a pilha para realizar a decomposição de sais metálicos



FONTE: FIGUIER, L. LES MERVEILLES DE LA SCIENCE OU DESCRIPTION POPULAIRE DES INVENTIONS MODERNES, LIBRAIRIE FURNE JOUVET ET CIE EDITEUR, PARIS, 1867, P.665.

Anterior a sua *Bakerian Lecture*²⁰ de 1806, intitulada “*On some Chemical Agencies of Electricity*”, Davy já tinha conhecimento das ações da eletricidade em soluções devido aos experimentos de Nicholson e Carlisle, como relatado anteriormente. Esses experimentos foram feitos com a água e foi possível observar a formação de oxigênio no polo positivo da pilha e hidrogênio no polo negativo²¹. Provido dessas informações, Davy passou a aplicar a eletricidade nos chamados “álcalis fixos”²², convicto de que poderia separar os elementos constituintes por decomposição. Nos primeiros experimentos, ele usou soluções dos álcalis de potássio não obtendo sucesso, pois a água sofria decomposição impedindo a análise do metal. O aperfeiçoamento do experimento ocorreu quando Davy utilizou uma pequena porção do álcali de potássio colocada em um disco de platina o qual era ligado ao polo negativo da bateria, e ao polo positivo, ele ligou um fio de platina, observou a efervescência na parte superior e a formação de uma espécie de glóbulo na parte inferior, decompondo, dessa forma o potássio.

Humphry Davy descreveu o potássio dessa forma:

Seu caráter externo é o de um metal branco, manchando-se imediatamente pela exposição ao ar. À temperatura de 70°F (21,1°C) ele existe em pequenos glóbulos que possuem o brilho metálico, opacidade e aparência de mercúrio. Quando um glóbulo é colocado na proximidade de outro, não é possível distinguir visivelmente nenhuma diferença entre eles nessa temperatura. O metal não é perfeitamente fluido, mas quando é aquecido gradualmente até 150°F (65,6°C), sua fluidez é tão perfeita que os glóbulos podem facilmente se tornar apenas um. Reduzindo-se a temperatura, em torno de 50°F (10,0°C), obtém-se um sólido macio e maleável que tem brilho de prata polida sendo macio o suficiente para se moldar como cera.

(Humphry Davy *In* PARIS, 1831, p., 266, 267).

Os experimentos de Davy com outro “álcali fixo”, a soda, foram semelhantes aos do álcali de potássio, visto que ele aplicou a eletricidade e obteve um metal brilhante, mas que possuía propriedades únicas, tais como a volatilidade, fusibilidade e oxidabilidade. Davy abordou esse experimento em sua *Bakerian Lecture* de 1810, “*On some of the Combinations of Oximuriatic Gas and Oxygen, and on the Chemical Relations of these Principles to Inflammable Bodies*”.

²⁰ *Bakerian Lecture* era uma palestra prêmio patrocinada pela *Royal Society*, iniciou-se em 1775 e existe até os dias atuais.

²¹ Em 1826, em outra palestra, Davy atribuiu o progresso inicial da eletroquímica aos estudos de Nicholson e Carlisle que, em abril de 1800, foram capazes de decompor a água e posteriormente algumas soluções metálicas, utilizando-se a pilha de Volta.

²² O termo “álcalis fixos” tinha essa denominação devido a sua resistência à ação do fogo. O amoníaco, hidróxido de amônio, era denominado “álcali volátil”, pois sofria evaporação ao ser aquecido. (BRANDE, 1821)

Davy seguiu efetuando uma série de estudos nas mais diversas áreas de trabalho antes do jovem Michael Faraday assumir como seu auxiliar na RI em 1813. Esses estudos não serão detalhados nesse trabalho devido ao fato de não ser o escopo principal dessa dissertação, mas não podemos ser incautos ao ponto de nem mesmo citá-los, devido a sua importância histórica. Dentre eles estão, os estudos com o óxido nitroso e suas ações fisiológicas, o isolamento dos elementos cálcio, estrôncio, bário e magnésio, todos em 1808 também pela ação da eletricidade, a descoberta do dióxido de cloro em 1811, a construção da lâmpada de Davy²³ em 1815 que passou a ser amplamente utilizada nas minas da Europa.

Figura 11: Lâmpada de Davy



FONTE: ROYAL INSTITUTION (C) PAUL WILKINSON.

Michael Faraday - Dados Biográficos e Estudos Preparatórios

O inglês Michael Faraday nasceu em Newington Butts, condado de Surrey em 22 de Setembro de 1791, mas logo se mudou para a parte central de Londres com a família. Como grande parcela da população da época, sua família não possuía grandes recursos financeiros. Seu pai, James Faraday (1761-1810) era ferreiro e pode proporcionar apenas uma educação muito básica e rudimentar a seus filhos. Michael seguia os ensinamentos dos sandemanianos, um grupo religioso protestante, que teve como um de seus fundadores, Robert Sandeman (1718-1771). Sua família ligou-se aos sandemanianos através de seus avós, mas foi através de seus pais que ele absorveu todos os ensinamentos dessa doutrina. Neste ambiente ele conheceu Sarah Bernard (1800-1879), sua futura esposa, com quem casou em 12

²³ A chamada “Lâmpada de Davy” foi concebida com o objetivo de ser utilizada em ambientes nos quais a atmosfera era inflamável, como em minas, onde se podem encontrar altas concentrações do chamado gás grisú, que era uma mistura de metano com oxigênio. O equipamento consistia em uma lâmpada de pavio curto que era envolta em uma malha metálica com furos tão pequenos capazes de permitir somente a passagem de oxigênio para a combustão. Pelo fato de ser metálica, esta malha dissipava o calor, impossibilitando que os gases presentes na atmosfera atingissem a temperatura de ignição. Funcionava também como um detector da presença dessa mistura explosiva, pois nesta situação, a chama mudava de aspecto. (PARIS, 1831)

de Junho de 1821, união esta que durou até o fim de sua vida. De acordo com os preceitos dessa doutrina, os sandemanianos deveriam se manter longe daqueles que não colocavam em prática os ensinamentos bíblicos e se recusavam a participar de casamentos realizados pela Igreja Anglicana. Faraday inclusive se recusava a comparecer a funerais realizados por essa igreja, pois sua “consciência não o permitia”. (CANTOR, 1991)

Em 1804, ele iniciou os trabalhos, na livraria de um imigrante judeu francês, chamado George Riebau (s/d), que havia escapado da Revolução Francesa. Sua livraria, a *Riebau's Shop*, localizava-se na *Blandford Street* em Londres. Faraday aí começou como garoto de recados e entregador de jornais, função que assumiu por cerca de um ano, como forma de treinamento, passado esse período inicial, em sete de outubro de 1805, Faraday assumiu formalmente a função de encadernador na livraria do Sr. Riebau. (THOMPSON, p. 5, 1901)

Figura 12: Vista Antiga da Livraria do Sr. Riebau - Blandford Street, Londres



FONTE: [HTTPS://QSTBB.PA.MSU.EDU/ED/LECTURES/FARADAYFIELDS.2/](https://qstbb.pa.msu.edu/ed/lectures/faradayfields.2/)

Com o trabalho de encadernador, Faraday passava a maior parte do tempo manipulando importantes obras. De acordo com um de seus biógrafos, Frank A. J. L James (1991), Faraday era autodidata. Algumas das obras que o influenciaram, foram; *Conversations on Chemistry* de 1806, escrita por Jane Marcet; *The Improvement of the Mind*,

datada de 1741 e escrita por Isaac Watts e *Notes about the Producibleness of Chymicall Principles* de Robert Boyle, publicado em 1680. (DAY, 1999)

Desde o início de seu aprendizado, George Riebau via em Faraday uma fascinação pelos livros, uma vontade em estudá-los, não os tratando apenas como meras pilhas de papel a serem encadernadas. Essa dedicação lhe rendeu oportunidades oferecidas por seu empregador e que proporcionaram o início de sua caminhada no mundo científico. (HAMILTON, 2003)

Conforme Thompson (1901), Faraday enxergava nas obras que manuseava uma fonte de conhecimento, que poderia e deveria ser explorada com rigor e empenho. Ele iniciou os estudos experimentais quando começou a utilizar parte de seu pagamento para adquirir materiais visando à produção de equipamentos simples os quais ele tinha acesso através de figuras presentes nas obras manipuladas na livraria. Construiu uma máquina elétrica, primeiro com vidro e posteriormente a aprimorou com um cilindro, além de outros equipamentos elétricos. Essa máquina elétrica assim como algumas obras que Faraday encadernou, estão preservadas na RI. (THOMPSON, 1901)

Figura 13: Gerador eletrostático de Michael Faraday



FONTE: ROYAL INSTITUTION (C) PAUL WILKINSON 2010

A gratidão que Michael Faraday tinha pelo Sr. George Riebau fica evidente em uma das cartas escritas para ele

“Para Sr. G. Riebau.”

"Sr,

Quando inicialmente eu evidenciei uma predileção pelas ciências, mais particularmente para que se denominou de eletricidade, você gentilmente interessou-se no progresso que fiz no conhecimento dos fatos relacionados com as diferentes teorias existentes, prontamente me permitiu examinar os livros em sua posse que eram relacionados de alguma forma com os temas que atraíam minha atenção. Portanto, deve ser atribuída à você a ascensão e existência dessa pequena porção de conhecimentos relacionados com as ciências que eu possuo, e a você são devidos os meus reconhecimentos [...] só posso expressar minhas obrigações de uma forma simples, mas sincera. Permita-me, portanto, senhor, render graças, desta maneira, aos muitos favores que recebi de suas mãos e por seus meios, e acredite em mim. Seu servo grato e obediente.”

(Michael Faraday *In* GLADSTONE, 1872, p.13)

Michael Faraday trabalhou para o Sr. Riebau por nove anos, nos quais se dedicou com tenacidade às leituras de importantes obras. Em 1810, conseguiu a permissão de seu mestre, como o próprio Faraday o chamava, para frequentar algumas palestras sobre ciência que foram proferidas por John Tatum (1772-1858) em sua própria residência. Tatum era um artesão, e havia inaugurado em sua casa, a *City Philosophical Society*²⁴ com a ideia do lugar se tornar uma espécie de sede, para que houvessem grupos de estudos e discussões. (GLADSTONE, 1872)

Esse grupo fundado por Tatum em 1808 era formado por trinta a quarenta jovens em sua maioria com condições financeiras limitadas. Encontravam-se todas as quartas-feiras para se instruírem e a cada quinze dias, cada membro ministrava uma palestra. Faraday foi introduzido nessa comunidade por Tatum, em 1813. Nesse período, o secretário da CPS era Edward Magrath (1799-1856) por quem Faraday acabou desenvolvendo uma forte amizade. Faraday e Magrath, juntamente com outros quatro membros do grupo, se encontravam frequentemente e desenvolveram um plano de melhoria de leitura, pronúncia e linguagem, se criticando e se corrigindo constantemente. Esses encontros perduraram por alguns anos e os resultados foram muito satisfatórios, visto o nível de palestrante que Faraday veio a se tornar. (THOMPSON, 1901)

²⁴ A *City Philosophical Society* durou até a instalação dos institutos de mecânica, em Londres. Tatum vendeu todo o aparato experimental para a *Birkbeck Institution* que atualmente é uma das instituições membro da Universidade de Londres. Grande parte dos membros se afiliou a sociedade de artes de Londres. (THOMPSON, 1901)

Foi nesse grupo de estudo que Faraday conheceu Benjamin Abbott (1793-1870), que se tornou também um grande amigo, chegando a ajudar Faraday em algumas questões, principalmente na organização de um plano para o aprimoramento mental seguindo os ensinamentos de Watts. Apesar de residirem à aproximadamente três quilômetros de distância, criaram o hábito de trocar cartas. (HAMILTON, 2003)

Em meados de 1812, com a ajuda de um cliente da livraria, Sr. Willian Dance (1755-1840), Faraday assistiu uma série de quatro conferências proferidas por Humphry Davy na RI. Essas conferências fazem parte da obra *Elements of Chemical Philosophy* e Faraday chegou a relatar esse importante acontecimento, descrevendo-o em um trecho de uma das suas poucas cartas autobiográficas.

Durante meu aprendizado, tive a sorte, devido à bondade de Sr. Dance que era um cliente do meu mestre e também membro da *Royal Institution*, de assistir quatro palestras do Sir Humphry Davy que foram feitas em 29 de Fevereiro, 14 de Março, 8 e 10 de Abril de 1812. Fiz anotações e escrevi sobre a conferência de forma mais completa, intercalando-os com [alguns] desenhos que pude fazer. O desejo de estar envolvido em uma ocupação científica, mesmo com a função mais baixa possível, me induziu enquanto aprendiz, a escrever, em minha ignorância de mundo e simplicidade de minha mente, a Sir Joseph Banks, então presidente da *Royal Institution*, naturalmente sem resposta, foi devolvida pelo porteiro.

(Faraday In JONES, 1870, p.14)

Ele apresentou essas anotações ao amigo Benjamin Abbott com quem pode discutir alguns temas de química e eletricidade, além de alguns experimentos que Faraday reproduziu. Em Setembro de 1812, dez dias antes de terminar seu trabalho de encadernador, escreveu uma carta a Abbott demonstrando sua opinião com relação a algumas teorias do fluido elétrico assim como os fenômenos de atração e repulsão. Incentivado pelo Sr. Dance, Faraday escreveu a Humphry Davy, enviando suas anotações referentes às quatro palestras que havia assistido, obtendo uma resposta positiva do mesmo, levando Faraday a permanecer como uma espécie de seu secretário por alguns dias, devido ao acidente que Davy havia sofrido, quando feriu o olho com tricloreto de nitrogênio. (THOMPSON, 1901)

Após esse primeiro contato, Davy aconselhou Faraday a manter seu trabalho de encadernador, prometendo enviar a ele, livros da RI para encadernação, assim como outras obras. No início de 1813, Davy visitou Faraday em sua humilde residência na qual vivia com sua mãe que já era viúva desde 1810 pedindo para que ele o contatasse na manhã seguinte. Nesse encontro, Davy o questionou sobre ainda estar interessado em mudar de ocupação, visto que William Payne (s/d), seu antigo assistente, havia sido demitido. Faraday aceitou o

cargo, que seria remunerado com a quantia de vinte e cinco xelins por semana. (THOMPSON, 1901)

O início oficial dos trabalhos como auxiliar de Davy, datam de 1 de Março de 1813 e tinham como principais funções, o auxílio aos palestrantes e professores no preparo das palestras e aulas da instituição além da limpeza e manutenção dos equipamentos. Faraday também era responsável pelas anotações referentes aos experimentos de Davy, que estava impossibilitado de fazê-lo devido ao ferimento em seu olho, como relatado anteriormente. Apesar de ser designado para essas funções, Faraday foi muito além, organizando toda uma coleção de minerais e após alguns dias de trabalho já estava extraindo açúcar de beterraba. (GLADSTONE, 1872)

Passadas algumas semanas de trabalho na RI, Faraday foi admitido formalmente como membro na CPS e no período compreendido entre Outubro de 1813 e Abril de 1815, fez viagens frequentes com Davy, passando pela França, Itália, Suíça, Alemanha, conhecendo diversos estudiosos como André-Marie Ampère (1775-1836) e Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) ambos em Paris e Alessandro Volta em Milão além das principais linhas de pesquisas da época. (THOMPSON, 1901)

Alguns relatos importantes dessa jornada serão retratados posteriormente neste trabalho, ilustrando essas viagens na visão do próprio Faraday, através do seu diário de viagem e também em cartas escritas por ele durante esse período.

Com o auxílio de Davy, Faraday pode desenvolver habilidades precisas no manuseio de equipamentos e realização de experimentos. Adquirindo experiência e confiança, iniciou a realização de alguns trabalhos individuais na ausência de seu mentor. As obras, *Experimental Researches in Chemistry and Physics* e *Experimental Researches in Electricity*, ambas escritas por Faraday, que serão analisadas neste trabalho, foram primeiramente publicadas em 1821 e 1839 respectivamente, reunindo diversos experimentos realizados durante o período de trabalho na RI, desde os sons produzidos por chamas em tubos de ensaio até a decomposição por aquecimento de amostras de gás líquido utilizado na iluminação pública de Londres, produzindo compostos de carbono e hidrogênio.

Reflexões Eletroquímicas em Algumas Correspondências de Faraday em 1812

Michael Faraday escreveu ao longo de sua trajetória como cientista, diversas cartas durante os anos de 1811 e 1867, infelizmente, muitas se perderam no tempo. Um total de 5053 cartas foram compiladas por Frank A. J. L. James em seis volumes, na obra “*The Correspondence of Michael Faraday*”, sendo o primeiro volume publicado em 1991 e o sexto em 2011. Elas foram escritas a diversos destinatários, dentre eles, Benjamin Abbott, Humphry Davy, a John Ayrton Paris (1875-1856), a sua esposa Sarah Bernard, a sua irmã mais nova, Margaret Faraday (1802-1862), além de diversos cientistas da época, tais como, Justus von Liebig (1803-1873), Amedeo Avogadro (1776-1856), John Frederic Daniell (1790-1845), entre outros, além das cartas direcionadas a publicação científica pela *Royal Society* no *Philosophical Transactions*.

Analisaremos algumas cartas escritas em 1812, visto que os diários que Faraday escrevia, relatando seus trabalhos de laboratório, começaram a ser confeccionados somente a partir de 1820. Dessa forma, as cartas redigidas durante esse período, são uma boa fonte de registros de seus experimentos envolvendo utilização da pilha voltaica, decomposição de substâncias, reações químicas, além de reflexões e questionamentos sobre as mais diversas situações enfrentadas.

Logo após assistir o ciclo de palestras de Humphry Davy na RI, Faraday começou a escrever cartas destinadas a Benjamin Abbott. Em um trecho da primeira carta, datada de 12 de Julho de 1812, ele retratou alguns experimentos sobre decomposição que começara a realizar:

Tenho feito recentemente algumas experiências galvânicas simples, apenas para ilustrar os primeiros princípios da ciência. Fui comprar níquel e pensei se eles poderiam ter zinco maleável. A primeira porção que obtive estava em peças muito finas, em um estado achatado. As comprei com a finalidade de formar discos, com os quais iria fazer uma pequena bateria juntamente com discos de cobre. Cortei sete discos do tamanho de metade de moedas cada um, cobrindo-os com outras sete metades e interpus entre eles seis pedaços de papel embebidos em solução de muriato de soda. Isto foi suficiente para produzir a decomposição de sulfato de magnésio. Eu não podia ter ideia que a bateria era capaz desse efeito. Fiz a ligação entre a solução e as partes superior e inferior da pilha, assumindo que o cobre decompunha o sulfato terroso. Os fios ficaram cobertos em um curto espaço de tempo com bolhas de algum gás, e um fluxo de bolhas muito pequenas, apareceram como pequenas partículas, correndo através da solução do fio negativo. Minha prova que o sulfato estava decomposto foi que após duas horas, a solução clara ficou turva e o magnésio ficou suspenso. Vendo esse grande efeito, procurei alguma placa ou folha de zinco e a partir delas cortei discos, além de obter algumas chapas de cobre e discos de uma polegada desse metal.

Empilhei estes acima como uma bateria, interpondo uma solução de muriato de soda por meio de discos de flanela do mesmo tamanho. Eu tinha, acredite, cerca de dezoito ou vinte pares de placas e com elas pude decompor o sulfato de magnésio, o sulfato de cobre, o acetato de chumbo e em primeiro lugar pensava ter decomposto também a água, mas minhas conclusões a esse respeito talvez sejam apressadas.

(Michael Faraday *In* JONES, 1870 p.20)

Neste trecho da primeira carta, podemos observar que Faraday construiu uma pilha utilizando placas de zinco e cobre e se surpreende ao perceber que foi capaz de decompor o sulfato de magnésio, o sulfato de cobre, o acetato de chumbo, além de pensar ter decomposto a molécula de água²⁵. Ele prosseguiu a carta relatando que não estava satisfeito com os resultados e que não poderia se contentar em apenas supor que tinha ocorrido uma decomposição da água, esse fenômeno teria que ser comprovado.

“Inseri os fios em uma porção de água e em pouco tempo, uma ação se iniciou. Uma densa nuvem branca desceu do fio positivo e bolhas subiram em rápida sucessão no fio negativo, mas depois de um tempo percebi que a ação diminuiu: a nuvem branca estava dificilmente perceptível no fio, apesar da parte inferior da solução ser perfeitamente opaca e as bolhas quase cessarem. Pensei que a ação da bateria estava esgotada, mas na filosofia natural não admitimos suposições e, portanto, para provar se a bateria estava inerte, ou se algum princípio na água foi esgotado, substituí uma nova porção de água pela que havia sido galvanizada. A ação iniciou novamente, e continuou como no início. O branco apareceu novamente, e as bolhas subiram como antes, mas depois de um tempo cessou, como no primeiro caso.”

(Michael Faraday *In* JONES, 1870 p.20)

Analisando essa sequência da carta, observa-se que Faraday repetiu o experimento de decomposição da água, observando a formação de bolhas no polo negativo de sua pilha. Não se satisfez com apenas um procedimento e o repetiu, observando o mesmo fenômeno nas duas amostras de água.

Na segunda carta que Faraday escreveu a seu amigo Abbott, datada de 20 de Julho de 1812, destaca-se o seguinte trecho no qual Faraday expõe sua ideia de ciência, que deve ser observadora, independentemente de se tratar de fatos aparentemente comuns e sem importância. Ele ainda tinha consciência que muitos desses fatos talvez viessem a ser negligenciados por serem, em um primeiro momento, comuns e desinteressantes.

²⁵ Vale ressaltar que desde o início dos experimentos de indução, Faraday passou a trabalhar com equipamentos cada vez menores, visando uma diminuição na perda de carga nas baterias e uma praticidade no transporte desses equipamentos para ministrar suas palestras.

“Estava esta manhã atraído por uma circunstância insignificante por notar os movimentos peculiares de cânfora na água. Eu não deveria ter mencionado essa circunstância simples, mas pensei que o efeito era devido à eletricidade, e considerei que se você estivesse familiarizado com o fenômeno, você notaria. Eu também concebo que uma ciência pode ser ilustrada por ações minuciosas e efeitos, quase tanto quanto por mais evidentes e óbvios. Os fatos são abundantes, mas não sabemos como classificá-los; muitos são negligenciados, pois parecem desinteressantes, mas lembre-se que o que levou Newton a perseguir e descobrir a lei da Gravidade e, finalmente, as leis pelas quais os mundos giram, foi a queda de uma maçã.”

(Michael Faraday *In* JONES, 1870 p.25)

Na terceira carta que Faraday escreve à Abbott, datada de 11 de Agosto de 1812, ele retrata sua concordância com alguns pensamentos de Thomas Thomson (1773-1852) em relação à Química, quando o mesmo afirmou que esta é, “a ciência que trata dos eventos ou alterações dos corpos naturais que consistem em movimentos insensíveis”. (THOMSON, 1818, p.2) No entanto, Faraday se mostra relutante e acredita que uma investigação sobre essas ideias seria importante para a Química e a eletricidade, relatando o fato dos metais ao serem atritados, exalarem odores específicos, principalmente o estanho.

“Esqueci-me de consultar no local apropriado, mas acho que uma investigação sobre isso seria importante para a ciência química, e talvez para a eletricidade. Vários metais, quando esfregados, emitem cheiro peculiar, mais particularmente o estanho. Os odores geralmente são causados por partículas do corpo que são exalados e se isso for um fato verdadeiro, introduz ao nosso questionamento uma propriedade muito volátil desses metais. Mas eu suspeito que seus estados elétricos estejam envolvidos. Temos então uma ação desse fluido que raramente é notada, e deve exigir uma análise antes da conclusão desses fenômenos.”

(Michael Faraday *In* JONES, 1870 p.29)

Na quinta carta de Faraday destinada à Abbott, escrita em 9 de Setembro de 1812, foram discutidas algumas teorias de decomposição de ácidos que haviam sido estudadas por Lavoisier e seus seguidores. No entanto, Humphry Davy estava contradizendo algumas dessas teorias e Faraday faz um relato de parte dessas ideias defendidas pelo seu mentor.

Entre outras experiências, Sr. H. Davy aqueceu ácido muriático gasoso seco em contato com o peróxido de manganês, também muito seco. A água foi rapidamente formada e o gás de cloro foi liberado. Como você explica esta? Conheço bem a sua teoria, mas você não pode considerá-la para a produção da água. Na verdade, o ácido muriático foi decomposto, o hidrogênio uniu-se ao oxigênio do óxido formando água, o cloreto permaneceu livre. Eu deveria ter observado que o óxido preto foi reduzido ao óxido marrom de manganês.

(Michael Faraday, *In* JONES, 1870, p.38)

A sexta carta foi escrita em 20 de Setembro de 1812 e a sétima em 28 de Setembro do mesmo ano na qual Faraday descreve ter ficado contente por Abbott ter sido capaz de dividir o fluido elétrico entre meios condutores e não condutores através de um disjuntor

“Fiquei muito satisfeito em observar que arquitetou claramente o curso do fluido elétrico. Você conseguiu um meio de ilustrar as diferenças entre um condutor e um não condutor. Se o meio interposto fosse um condutor, a eletricidade teria passado por ele e não seria dividida. Através deste condutor variável e disjuntado, foi dividida com eficiência a resistência da eletricidade, seja pela afinidade com o condutor ou a própria repulsão, ou pela ação conjunta dessas forças, seria bom verificar a influência de cada um deles nesse efeito.”

(Michael Faraday *In* JONES, 1870, p. 43)

A oitava carta que Faraday escreveu a seu amigo é datada de 1 de Outubro de 1812 e foi a última carta antes dele encerrar seu trabalho como encadernador na livraria do Sr. Riebau. Nessa correspondência ele relata a capacidade de Abbott entender seus questionamentos e acrescentar outros, além de lhe parabenizar por seguir o ramo da eletricidade reconhecendo que ainda teria certas dificuldades sobre o assunto. Faraday também diz ao amigo que seu tempo ficará escasso, devido ao fato de iniciar algumas viagens.

Felicitoo pela rapidez com o qual você observa novas aparências. Congratulo-lhe pela sua determinação em dedicar-se ao assunto da eletricidade, e não tenho dúvidas de que eu vou ter algumas cartas muito interessantes sobre o assunto. Certamente, desejo (e farei, se possível) estar presente no desempenho das experiências, mas você sabe que eu devo entrar em breve no horário de um viajante e acredito que o tempo será mais escasso.

(Michael Faraday *In* JONES, 1870, p.45)

Em 8 de Outubro de 1812, Michael Faraday realizou uma viagem com Henri De La Roche (s/d) que também possuía uma livraria em Londres buscando ampliar sua prática como encadernador. Continuou no ofício até início de 1813, quando iniciou seus trabalhos com Davy na *Royal Institution*.

Um Pequeno Relato da Jornada de Faraday e Davy pela Europa

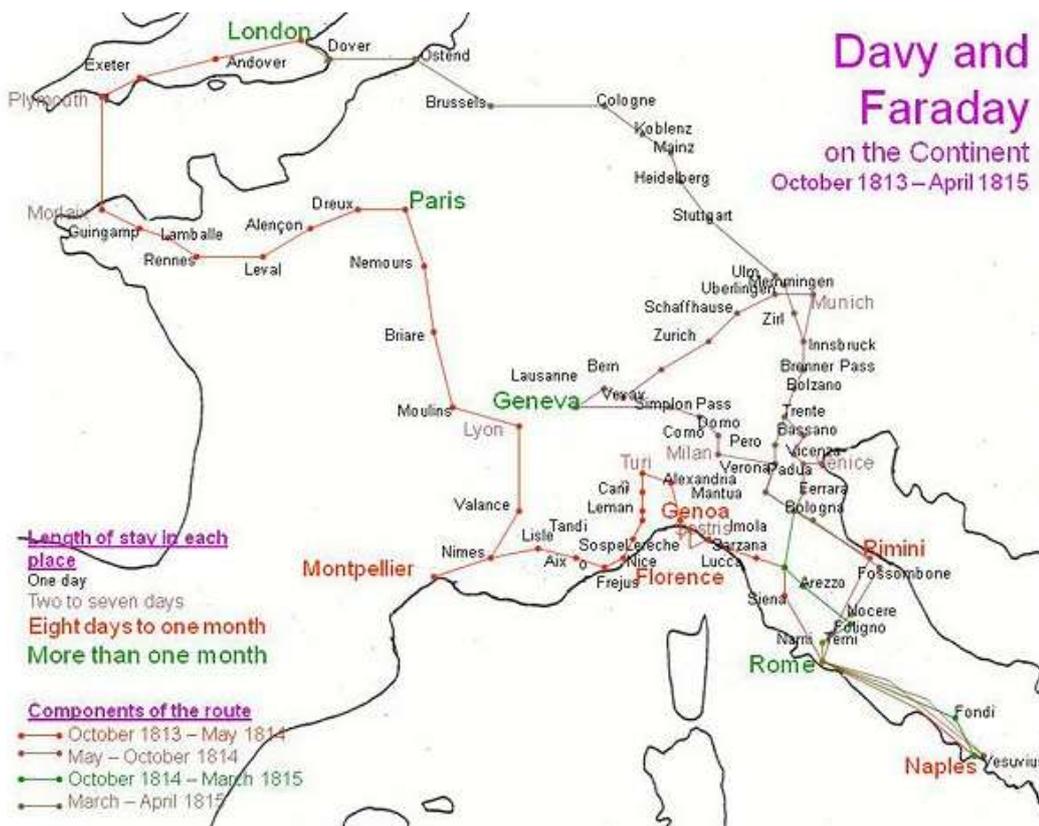
Muito importante também para a formação científica de Faraday, foram viagens científicas que ele fez com Davy, passando por diversos países da Europa e conhecendo importantes cientistas da época, como já foi escrito anteriormente. O espírito científico de Faraday estava sendo burilado durante essas viagens e para ilustrar esse novo cientista que

estava se formando, citaremos alguns trechos de seu diário de viagem o qual foi confeccionado durante esse período. Essa jornada se iniciou em 13 de Outubro de 1813, durando cerca de um ano e meio, terminando em 23 de Abril de 1815.

Vale ressaltar que durante o período dessas viagens, a Grã-Bretanha estava em guerra com a França, conflito que só se encerrou com o Tratado de Paris em Novembro de 1815. No entanto, Davy havia sido premiado pelo *Institut de France* por suas pesquisas com a eletricidade. Este prêmio foi oferecido por Napoleão Bonaparte (1769-1821), que sempre teve grande interesse por questões ligadas à ciência. Dessa forma, o visto foi concedido à Davy e embora a imprensa britânica acreditasse que esse convite fosse perturbador para as relações públicas entre os dois países, a viagem foi realizada. (DAY, 1999)

Faraday registrou no diário, diversos acontecimentos relevantes para a ciência e para sua experiência de vida. Era a primeira vez que ele deixava Londres por uma distância maior que 20 quilômetros e o fazia por um longo período. Os registros dessa jornada eram feitos com bastante frequência e descreveram grande parte das situações vividas pelos dois cientistas. A figura 14 ilustra o trajeto que Davy e Faraday fizeram durante esse período.

Figura 14: Mapa da viagem de Faraday e Davy



FONTE: ROYAL INSTITUTION

<https://www.flickr.com/photos/67474303@N06/10473642983/>

No dia 23 de Novembro de 1813, Davy e Faraday recebem em sua hospedagem em Paris, três eminentes cientista franceses, Ampère, Nicolas Clement (1779-1841), Charles Bernard Desormes (1777-1862) que os visitaram com o objetivo de apresentar-lhes uma substância que havia sido isolada por Bernard Courtois (1777-1838) em meados de 1811. Como dito anteriormente, a guerra entre os dois países os obrigaram a serem bem sucintos na descrição dessa nova substância. Este material era descrito como um sólido que não se fundia sob aquecimento, mas exalava vapores escuros. Faraday e Davy realizam alguns experimentos com essa substância, observando que seus vapores cristalizavam-se quando resfriados. Identificaram sua solubilidade em álcool e prepararam uma solução alcóolica marrom escura. Ao se adicionar nitrato de prata, formava-se um precipitado que escurecia rapidamente quando colocado ao contato da luz solar.

Gay-Lussac também estava trabalhando com essa substância e quando Faraday e Davy o encontraram em 8 de Dezembro de 1813, na *L'ecole Polytechnique* em Paris, assistiram uma de suas aulas na academia. Vale ressaltar que o estudioso francês já era professor desta instituição desde 1809 e permaneceu no cargo até 1840. Davy, que já tinha certa experiência na publicação de trabalhos, escreve à RS no dia 10 de Dezembro, descrevendo todos os experimentos feitos por ele em Paris e anunciando um novo elemento, o Iodo. No entanto, ele e Gay-Lussac atribuíram a “descoberta” a Courtois. A carta foi lida em 24 de Janeiro de 1814. (HAMILTON, 2002)

Destaca-se um pequeno trecho das anotações de Faraday relatando a experiência de visitar a instituição e assistir uma aula de Gay-Lussac.

Fui hoje com Sr. H. Davy para *L'Ecole Polytechnique*, a escola nacional de química, para ouvir uma aula apresentada por Sr. Gay-Lussac para cerca de duzentos alunos. O assunto era vapor e o tratado de formação, a eletricidade, a compressão, etc. Foram ilustrados através de diagramas, experiências, e os alunos ficaram ocupados por cerca de uma hora. Meu conhecimento do francês é tão pequeno que dificilmente podia distinguir a palestra, sem os experimentos, estaria completamente perdido. Depois que a palestra acabou, fomos ver a bateria voltaica, cuja despesa foi custeada pelo governo. Era composta por seis cavidades de madeira, cada uma contendo cerca de uma centena de pares de placas de sete ou oito polegadas quadradas. O canal tinha quatro pés de comprimento, e existia um sistema no fundo de cada canal através do qual, quando um fio era desligado, o ácido era liberado. Isso eu não compreendo completamente, mas o fio parece fechar um longo e estreito canal, que se comunicava com o fundo das células.

(Michael Faraday *In* JONES, 1870, p. 99)

Em 29 de Dezembro de 1813, eles deixam Paris após três meses, em direção à Itália, passando por Turin, Gênova, Florença e chegando à capital italiana em 7 de Abril de 1814. Em Fevereiro deste mesmo ano, quando ainda estavam em Gênova, fizeram alguns experimentos com torpedos (peixes elétricos) na residência de um químico²⁶ na esperança que a água pudesse ser decomposta pelo choque desses animais, mas não se observou esse efeito. (JONES, 1870)

Após um mês em Roma, eles se dirigiram para Nápoles onde visitaram o vulcão Vesúvio em 13 de Maio e no topo da montanha, Faraday fez algumas observações importantes.

O Monte Vesúvio foi o trabalho de hoje e fui totalmente recompensado da minha fadiga ao vê-lo. Com a ajuda de bastões fortes e dois ou três descansos, atingimos o topo por volta das duas e meia da tarde. O volume de fumaça era imenso e a visão era aterrorizante. Subimos para um ponto de parada onde era possível ver a boca e uma parte da cratera do vulcão. Nesse ponto, podíamos ter uma bela vista do fogo. O vento estava favorável levando a fumaça para longe de nós e às vezes podíamos ver as chamas saírem com uma força extraordinária. A fumaça emanava de todas as partes com o mesmo amarelo que Sr. Davy dizia ser muriato de ferro. Tivemos que sair correndo sobre a lava devido à mudança do vento e ao gás de enxofre que começava a nos sufocar. A abertura do vulcão era muito grande e lançava um odor que parecia consistir principalmente de ácido muriático além de várias outras substâncias de cores brancas, vermelhas e amarelas que pareciam ser compostos de ferro.

(Michael Faraday *In* JONES, 1870, p. 132, 133)

Em 17 de Junho de 1814 quando Faraday e Davy estavam em Milão, conheceram Alessandro Volta que lhes apresentou à pilha elétrica construída por ele em meados de 1800. Com sessenta e nove anos, Volta foi descrito por Faraday apenas como “um homem idoso”. (JONES, 1870). A figura abaixo mostra a pilha em questão.

²⁶ Na obra “*Life and Letters of Faraday*”, não foi possível encontrar qual foi o químico que ofereceu seus equipamentos para que pudessem realizar esses experimentos como os peixes elétricos. Faraday não o descreveu em suas anotações.

Figura 15: Pilha de Alessandro Volta em exposição na Royal Institution



FONTE: ROYAL INSTITUTION (C) PAUL WILKINSON 2010

As Contribuições de Faraday para a Ciência Química

Após retornar para a Inglaterra, Faraday reassumiu seu posto de assistente de laboratório, sendo responsável pela coleção mineralógica e pelos equipamentos na RI. Tinha disponível para si, uma moradia oferecida pela instituição e um salário de trinta xelins por semana. (JONES, 1870)

Nesse período, Faraday pode enxergar a grande capacidade científica que Davy possuía, comparando-o aos cientistas franceses que visitaram. Eles iniciaram os trabalhos de elaboração e aperfeiçoamento da “Lâmpada de Davy” que adquiriu grande repercussão em toda a Europa, como relatado anteriormente. Faraday organizava os equipamentos e reagentes de Davy, transcrevia cuidadosa e caprichosamente suas anotações, além de auxiliá-lo nos experimentos. Faraday, que ao contrário de Davy era muito organizado, ficou conhecido futuramente por sua metodologia de trabalho extremamente meticulosa, pela organização de seus laboratórios e por suas palestras muito bem estruturadas. (JONES, 1870)

No ano de 1816, Faraday ministrou seis palestras na CPS, sendo a primeira em 17 de Janeiro, a qual tinha como tema, a atração e coesão. A segunda palestra foi sobre afinidade química e a terceira sobre a matéria radiante. A quarta, quinta e sexta palestras versavam

sobre alguns elementos químicos, tais como, o oxigênio, o cloro, o iodo, o hidrogênio, o nitrogênio, entre outros. (JONES, 1870)

No capítulo 4 desta dissertação, vamos abordar especificamente os trabalhos de Faraday como educador no palco da RI e aprofundaremos nossa pesquisa na formação que ele adquiriu nos primeiros anos, como aprendiz, e que aprimorou nos seguintes, como palestrante da instituição.

Podemos observar através dessas primeiras *Lectures*, que Faraday foi muito influenciado pelo conhecimento químico que Humphry Davy possuía. Entre os anos de 1816 e 1832, quando iniciou suas pesquisas que culminaram na elucidação das leis eletroquímicas, dedicou a maior parte de seu tempo às pesquisas químicas. Abordaremos apenas alguns dos importantes estudos que Faraday desenvolveu nesse campo de conhecimento: O isolamento do benzeno, em 1825, a síntese de compostos orgânicos clorados, em 1820, a liquefação de alguns gases sob pressão em 1823, tais como o cloro e o dióxido de carbono. Vale ressaltar que a partir desses compostos liquefeitos é que se tornou possível o desenvolvimento dos métodos de refrigeração. (FARADAY, 1859)

Entre os anos de 1808 e 1809, Gay-Lussac e Louis-Jacques Thénard (1777-1857), realizaram experimentos na tentativa de decompor o então chamado, ácido oxi-muriático, não obtendo sucesso. A não decomposição os levou a defender a ideia de um corpo simples, apesar da teoria ser mais bem explicada através do conceito de corpo composto. (GAY-LUSSAC, THÉNARD, 1809).

Humphry Davy também pesquisou o ácido oximuriático em 1810. De acordo com Faraday (1859), uma das primeiras circunstâncias que fez com que Davy questionasse a natureza da composição deste ácido, foi uma falta de reatividade quando este era submetido ao aquecimento. O cloro, tendo sua natureza revelada, foi importante para ser combinado com outras substâncias elementares e esses compostos formados, puderam ser vistos sob uma nova perspectiva. Para Faraday, os compostos de carbono e de cloro não eram muito pesquisados pelos químicos após os estudos de Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), só sendo retomados após 1810 com as conclusões de Gay-Lussac e Thénard a respeito da natureza do cloro. (FARADAY, 1859)

Os experimentos de Faraday consistiam em reagir cloro gasoso e o então chamado gás olefino (eteno), ocorrendo uma condensação de um fluido volátil que continha cloro, carbono e hidrogênio. Ao se alterar os volumes de gases, aumentando a quantidade de cloro na reação, formava-se um fluido de tonalidade amarelada, produzindo vapores ácidos, o que levou Faraday a concluir que o cloro substituía o hidrogênio no composto sem a liberação de

nenhum carbono ou cloro. A adição dos gases era feita em um recipiente de vidro de aproximadamente 200 polegadas cúbicas (3,28L), em pequenas porções, tanto de eteno quanto de cloro. À medida que a concentração de um gás reduzia, pelo consumo que ocorria devido à reação química, era inserido mais gás no recipiente de forma a prosseguir com a reação. Quando Faraday cessou a injeção de eteno no recipiente observou a formação de uma atmosfera de cloro que imediatamente desapareceu devido à reação com água presente no sistema, formando ácido muriático²⁷. (FARADAY, 1859, p. 35)

Foi constatado que a água não interferia na formação do composto de carbono e cloro, e sendo adicionada ao sistema, reagia com o excedente do cloro, produzindo o ácido muriático e evitando assim, o uso de uma bomba de vácuo para efetuar uma sucção do gás em excesso. Após diversas adições dos gases reagentes, eteno e cloro, Faraday observou que o fluido formava cristais no fundo do recipiente. Ele chamou esses cristais incolores formados, de *percloro de carbono*. Efetuou vários outros ensaios testando sua refração, sua resistência mecânica, condução de eletricidade, solubilidade em água e álcool em diferentes temperaturas, além dos pontos de fusão e de ebulição. (FARADAY, 1859)

De acordo com os dados do ponto de ebulição que Faraday encontrou para esse composto, pode-se concluir que se tratava do hexacloroetano, que possui ponto de ebulição de 186°C, e de acordo com os experimentos feitos pelo cientista, encontrou-se um valor de 182°C (360°F), nos permitindo notar o nível de precisão que ele ansiava em seus experimentos, mesmo trabalhando com equipamentos do século XIX que, sabidamente possuíam certa limitação.

Ao se passar o hexacloroetano através de um tubo de metal quente, a substância sofreu decomposição e se formou o tetracloreteno, juntamente com o gás cloro. Com esse conjunto de experimentos, Faraday sintetizou dois novos compostos de carbono e cloro, C_2Cl_6 e C_2Cl_4 , já obtendo algumas propriedades físicas e químicas dessas substâncias.

Os experimentos com a liquefação de gases teve início em 1823, quando Faraday obteve o cloro no estado líquido a partir de cristais hidratados. Ele submeteu um artigo que tratava desse estudo à RS neste mesmo ano, quando Humphry Davy era o presidente da instituição. Este, encorajou Faraday a prosseguir nos experimentos com outros compostos gasosos e ele o fez, trabalhando com diversas outras substâncias que se encontram no estado gasoso, quando se trata de condições normais de temperatura e pressão. (FARADAY, 1859)

²⁷ Embora a primeira edição seja de 1839, optamos em utilizar a segunda edição por estar mais bem conservada e possuir figuras de melhor qualidade, mas sempre efetuando uma comparação para sermos fieis ao texto original da obra.

Faraday trabalhou com cristais de cloro que possuíam uma composição de 27,7% de cloro e 72,3% de água, e diante de algumas sugestões de Davy, que propunha “uma exposição dessa substância ao aquecimento sob pressão, podendo levar a resultados interessantes”, ele prosseguiu com os experimentos. (FARADAY, 1859, p.85)

Esses cristais foram introduzidos em tubos hermeticamente fechados e submetidos ao aquecimento a diversas temperaturas. Aos 60°F (15,6°C) não ocorreu nenhuma alteração, mas aos 100°F (37,8°C), ocorreu a fusão dessa substância formando-se uma atmosfera de coloração amarela. Após cerca de três horas observou-se a formação de duas substâncias fluidas distintas, uma incolor que se assemelhava com a água e uma de coloração amarelada. Esses dois compostos foram destilados através de um tubo curvado e após o resfriamento nenhuma das duas substâncias se solidificou em temperaturas acima de 34°F (1,1°C) e a porção amarela nem mesmo quando foi submetida a 0°F (-17,8°C). (FARADAY, 1859)

Houve uma formação de gás cloro dentro do tubo no qual se encontrava os cristais amarelados, esse gás ao ser recolhido e comprimido a uma pressão de aproximadamente quatro atmosferas, e uma temperatura entre 50°F (10,0°C) e 60°F (15,6°C), condensava, formando um fluido amarelo após seu resfriamento. Neste momento, Faraday prossegue sua pesquisa estudando algumas propriedades dessa substância, submetendo-a à diversas temperaturas, algumas bem baixas, 0°F (-17,8°C), na qual o fluido permaneceu no estado líquido. (FARADAY, 1859)

Figura 16: Cloro líquido selado em uma ampola de quartzo submetido a uma pressão maior que 7,4 bar.



FONTE: [HTTP://WWW.RIGB.ORG/OUR-HISTORY/TIMELINE-OF-THE-RI](http://www.rigb.org/our-history/timeline-of-the-ri)

Alguns estudos com o gás carbônico foram feitos primeiramente por Benjamin Thompson (1753-1814) também conhecido por Conde Rumford, eleito membro da RS em 1779 e responsável pelas pesquisas iniciais sobre a transformação de energia em calor em 1798, que contribuíram para o enfraquecimento da teoria do calórico. (MILLAR, 1996)

Faraday citou os estudos do Conde Rumford, mas seguiu por outros caminhos. Segundo ele, o conde havia queimado pólvora em recipientes fechados e de volumes conhecidos. Trabalhando com diferentes quantidades da substância, observava-se em alguns recipientes, a explosão da rolha que o estava vedando, entretanto, nos recipientes em que não ocorria esse fenômeno, ocorria uma queima da pólvora sem que o gás carbônico formado escapasse do recipiente. Quando era resfriado, parte desse gás sob pressão, sofria condensação, reduzindo a pressão do sistema. (FARADAY, 1859)

Os trabalhos de Faraday com o gás carbônico consistiam em uma mistura reacional entre ácido sulfúrico e carbonato de amônia. Esta reação, ocorrendo em tubos selados, produzia uma atmosfera de gás carbônico que era posteriormente resfriado a 0°F (-17,8°C) sofrendo condensação e formando o CO₂, líquido e incolor. (FARADAY, 1932)

Outro estudo que Faraday realizou no campo da Química e iremos relatar neste trabalho, foi o processo de isolamento do benzeno em 1825, através de reações de aquecimento e posterior decomposição do gás de iluminação²⁸ que era utilizado em Londres desde 1807. (THOMSON, 2003)

Quando esse gás era comprimido a uma pressão de aproximadamente 30 atmosferas, uma porção líquida era depositada no fundo do recipiente. Amostras desse gás foram enviadas à Faraday por Alexander Gordon (1802-1868), que era um engenheiro civil de Londres e especialista em iluminação de residências. (FARADAY, 1859)

Faraday aqueceu a substância, à temperaturas próximas do ponto de ebulição em recipientes fechados que continham pequenas porções desse gás líqüefeito. Ao abri-los, parte dos gases mais voláteis eram dissipados e ocorria o aumento da temperatura, repetido o processo por algumas vezes, a temperatura ultrapassou os 100°F (37,8°C). Ao efetuar esse procedimento, foi capaz de separar diversos componentes da amostra, volatilizando-a completamente em 250°F (121,1°C), além de observar durante os experimentos, o fato do ponto de ebulição ser mais constante em um desses produtos, estando entre 176°F (80,0°C) e 190°F (87,8°C). Esse composto em questão, Faraday denominou como bicarbureto de hidrogênio, hoje conhecido como benzeno. (FARADAY, 1859)

Para obter essa substância, Faraday prosseguiu submetendo ao resfriamento todos os tubos contendo os diferentes produtos da decomposição citada anteriormente. Uma dessas amostras se liquefez ao atingir 176°F (80,0°C), formando cristais na parede do tubo e um fluido no centro do mesmo. Ele caracterizou algumas propriedades dessa substância, tais como sua aparência de líquido incolor, seu odor adocicado, sua densidade de aproximadamente 0,85 g/cm³, seu ponto de ebulição de 176°F e fusão de 42°F (5,6°C), solubilidade em diversos solventes, como água e álcool. Efetuou também o processo de combustão além de reações com outras substâncias, como oxigênio, ácido sulfúrico, potássio, cloro e ácido nítrico. (FARADAY, 1859, 1932)

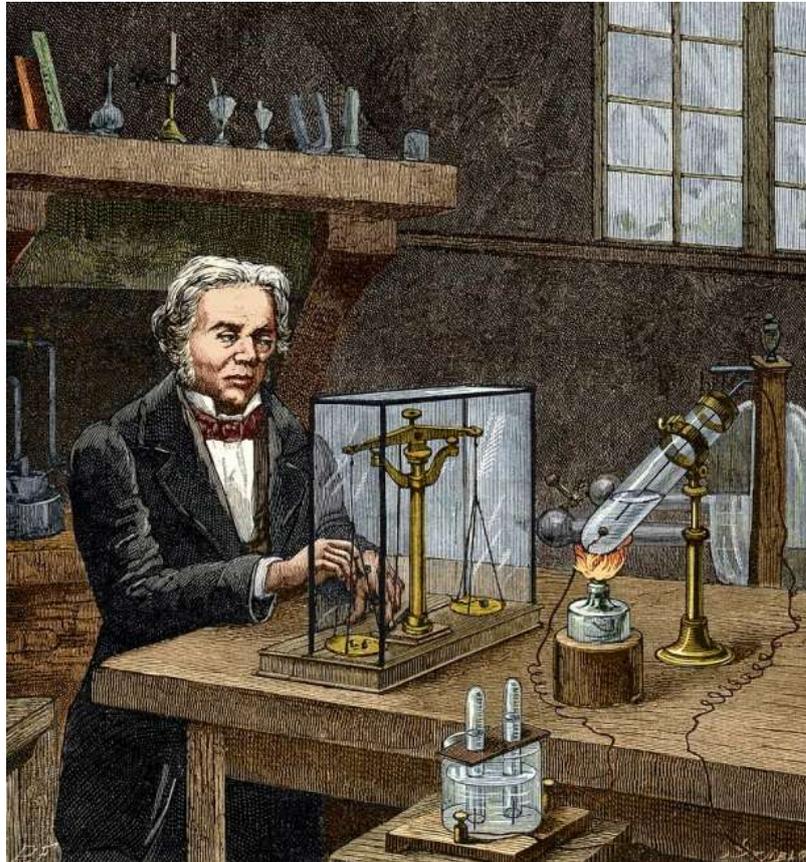
²⁸ O gás de iluminação teve seu advento com William Murdoch (1754-1839), que submeteu carvão ao aquecimento e recolheu o gás produzido. Sua casa foi a primeira de Cornwall a ser iluminada por gás, em 1798 ele acendeu parcialmente a fábrica de James Watt (1736-1819) em Birmingham.

Capítulo III

A Elucidação das Leis Eletroquímicas de Faraday

A Lei de Condução Elétrica

Figura 17: Ilustração de Michael Faraday realizando experimentos sobre Eletrólise em 1833



FONTE: SHEILA TERRY [HTTPS://WWW.SCIENCEPHOTO.COM/CONTRIBUTOR/STE](https://www.sciencephoto.com/contributor/ste)

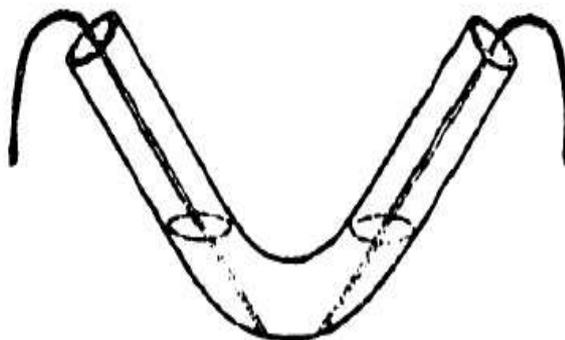
Durante o período em que Faraday investigava as relações da decomposição eletroquímica, ele observou alguns efeitos e os atribuiu a uma lei geral de condução elétrica que era desconhecida até então. Ele trabalhou com soluções congeladas, que são mais adequadas para se observar a falta de condutividade, pois quando eram interpostas com soluções líquidas, impediam a transmissão da eletricidade, e assim a decomposição nessas soluções cessava. Inicialmente, Faraday utilizou gelo comum durante o rigoroso inverno do final de Janeiro de 1833, mas não obteve bons resultados devido a algumas imperfeições desses arranjos de células voltaicas. O estudioso adotou então uma forma mais elaborada do experimento quando utilizou vasos de estanho interligados com fios de cobre que eram conectados a uma pilha voltaica. Nesses recipientes Faraday introduziu eletrodos de platina

devidamente isolados para que não entrassem em contato com as paredes metálicas dos vasos. A utilização de água destilada que era congelada e que ocupava os espaços entre as paredes de estanho e os eletrodos de platina, completavam o experimento. Além de todo esse aparato, Faraday incluiu no circuito um galvanômetro, o qual não detectou nenhuma alteração de corrente no sistema, mesmo se utilizando uma bateria altamente carregada. (FARADAY, 1849)

Ao efetuar o processo de descongelamento da água através de aquecimento dos vasos de estanho, Faraday não observou inicialmente nenhuma alteração de suas medidas, mas quando o eletrodo de platina tocou a parte liquefeita do gelo, foi observada uma deflexão de 70° no galvanômetro. Esses experimentos ilustravam de forma clara a não condutividade do gelo, mesmo quando ele testava as partes de gelo com pequenas espessuras. Quando eram descongeladas essas películas, como Faraday as intitulou, permitiam a condução da eletricidade. Esses experimentos foram repetidos por diversas vezes, ele chegou a utilizar cento e cinquenta pares carregados e nenhuma eletricidade passou pela barreira de gelo. (FARADAY, 1849)

Prosseguindo com seus questionamentos, Faraday estendeu suas pesquisas a outras substâncias que eram sólidas em temperatura ambiente, mas passíveis de serem facilmente fundidas, constatando que o efeito de perda de condutividade no estado sólido não era restrito à água. Trabalhou primeiramente com cloreto de chumbo líquido conectado com os polos de uma bateria e observou a decomposição dessa substância, assim como uma medida feita pelo galvanômetro. Após deixar o cloreto de chumbo retornar ao estado sólido, Faraday observou uma interrupção nos efeitos observados e ao fundi-lo novamente, a eletricidade tornou a passar pelo circuito. Esses experimentos foram replicados com cloreto de prata, com cloreto de sódio e potássio, com sulfato de sódio e com carbonatos de sódio e potássio, e ele captou os mesmos resultados, que esses compostos em estado líquido, permitiam a passagem da eletricidade e quando sólidos, se tornavam isolantes. Além desse fenômeno de condução elétrica, ele observou que sempre ocorria a decomposição das substâncias testadas, relatando a deposição de metais nos polos negativos. (FARADAY, 1849)

Figura 18: Aparato experimental utilizado por Faraday para se verificar a condução de eletricidade em substâncias fundidas.



FONTE: FARADAY, 1849

Faraday afirmava que o poder de condução da eletricidade conferido pelas substâncias, era maior do que o da água, mesmo não efetuando medidas para quantificar essa superioridade de condução ele pôde chegar a essa conclusão. Ao adicionar sais em amostras de água ele observou um aumento da condução da corrente elétrica nessas situações. Faraday atribuiu esse aumento ao elevado poder de condução das substâncias puras em estado líquido, mas não foi capaz de relacionar essa capacidade de condução com a decomposição das substâncias, no entanto, tinha consciência que independente desses fenômenos - decomposição e condução - estarem interligados, isso não afetaria suas conclusões. Michael Faraday enumera diversas substâncias, em sua maioria, consideradas de diferentes classes químicas, que estariam passíveis de sofrer ação da corrente elétrica. Ele confirmou que os seguintes compostos conduzem corrente: a água, os óxidos de potassa, protoxido de chumbo, vidro de antimônio, protoxido de antimônio, óxido de bismuto, os cloretos de potássio, de sódio, de bário, de estrôncio, de cálcio, de magnésio, de manganês, de zinco, de cobre, de chumbo, de estanho, de antimônio e de prata. Os iodetos de potássio, de zinco e de chumbo, o protiodeto de estanho, o periodeto de mercúrio, o fluoreto de potássio, o cianeto de potássio e o sulfocianeto de potássio.

Verificou também a ação eletroquímica no clorato de potassa, no nitrato de potassa, de soda, de barita, de estrôncio, de chumbo, de cobre e prata, nos sulfatos de soda e de chumbo além do protosulfato de mercúrio. Nos fosfatos de potassa, de soda, de chumbo, de cobre, no vidro fosfórico ou fosfato de cal ácido, nos carbonatos de potassa e soda, juntamente e separadamente, no bórax, no borato de chumbo, no perborato de estanho, no cromato de potassa, no dicromato de potassa, no cromato de chumbo, no acetato de potassa, no sulfeto de antimônio, no sulfeto de potássio produzido pela redução do sulfato de potassa

por hidrogênio, no sulfeto de potassa, além de silicatos e um composto chamado “Camaleão mineral”²⁹. (FARADAY, 1849, p.115)

De acordo com Faraday, esse fenômeno de condução elétrica através de substâncias, ainda não havia sido pesquisado, no entanto ele conseguiu ressaltar que todos os compostos que conduziam eletricidade, tinham elementos que se direcionavam contrariamente para os polos e sofriam decomposição. Além dessas afirmações, Faraday observou que à medida que um sólido se fundia, perdia a capacidade de conduzir calor, mas ganhava a habilidade de conduzir eletricidade. Entretanto, ele não conseguiu explicar essa análise inicialmente. (FARADAY, 1849)

A Teoria da Decomposição Eletroquímica

O processo de decomposição eletroquímica foi amplamente pesquisado por Faraday em meados de 1833 e entre diversas conclusões obtidas, destaca-se a equivalência do fenômeno tanto com a utilização de pilhas quanto de máquinas elétricas. O efeito de decomposição era observado em ambos os casos, muito embora as máquinas elétricas possuíssem uma tensão muito superior à das pilhas elétricas. Faraday acreditava que o uso de tensões altas, fazia com que os constituintes da matéria ainda não dissociados, estocassem essa energia de algum modo. (FARADAY, 1849)

Esses experimentos foram organizados de tal forma, que Faraday intitulou seus primeiros resultados como “Novas condições da decomposição eletroquímica” (FARADAY, 1849, p. 128). Neles estavam englobados os resultados que confirmavam a influência da quantidade de eletricidade fornecida a um sistema e sua consequente decomposição proporcional.

Com o uso da eletricidade gerada por uma máquina elétrica, foi observada uma capacidade de decomposição muito mais rápida do que quando se utilizava uma bateria voltaica. Faraday observou que a utilização de apenas um fio condutor ligado à máquina elétrica era capaz de promover a decomposição, desde que um dos polos estivesse aterrado, independentemente de ser o polo negativo ou o positivo que estivesse ligado a máquina, isso ocasionava uma alteração no sentido da corrente elétrica. Essas diversas pesquisas realizadas pelo cientista, nos mostram que a decomposição eletroquímica não depende exclusivamente da ação simultânea de dois polos, pois a utilização de apenas um deles é capaz de provocar o fenômeno. (FARADAY, 1849)

²⁹ A substância denominada “camaleão mineral” consiste no permanganato de potássio KMnO_4 . Tinha essa nomenclatura devido aos diversos números de oxidação possíveis para o manganês que conferiam as soluções diferentes cores. Tais como o violeta do KMnO_4 , o verde do K_2MnO_4 além do marrom claro do MnO_2 .

Os estudos eletroquímicos no século XIX tinham como consenso que a água era essencial para a decomposição eletroquímica, na pilha voltaica e também na transmissão de eletricidade. O próprio Humphry Davy fez uma declaração na qual afirmava que não era conhecido nenhum fluido que conduzisse eletricidade se não tivesse água nesse meio. Sabe-se que esse conceito era equivocado, mas Davy se referia principalmente à força eletromotriz das pilhas, e como já citado anteriormente, essas eram muito maiores quando se utilizava discos embebidos em soluções salinas e também no experimento da *pile à couronne de tasses*.

Faraday contradiz Davy quando afirma em uma das passagens de seu *Experimental Researches in Electricity*:

“Existem centenas de compostos que influenciam a decomposição tal como a água. Os compostos binários, os óxidos, os cloretos, os iodetos e até mesmo os sulfitos, foram efetivos na transmissão da eletricidade. Entre os compostos mais complexos, como os cianetos e os sais, de igual efeito, também ocorreu a decomposição”.

(FARADAY, 1849, p. 133, 134)

Dessa forma, a água, era apenas uma, das mais variadas substâncias e se mostrava uma das piores em relação à capacidade de condução e decomposição. Na verdade, sua vasta utilização era devido à facilidade de obtenção e por apresentar-se em um estado líquido à temperatura ambiente. Foram testadas diversas substâncias com o objetivo de se verificar a capacidade de decomposição e transmissão de eletricidade. Pode-se citar o cloreto de potássio, o carbonato de potássio, o cloreto de chumbo, o sulfato de sódio dentre outras.

A Elucidação das Leis de Faraday para a Eletroquímica

De acordo com Faraday, o que pode ser considerado a parte central da eletroquímica é a decomposição, sendo a separação da substância passível de ser decomposta, o ponto final da sua pesquisa. Quando o composto entrava em contato com os polos de uma pilha, ocorria uma decomposição, sendo os elementos metálicos, depositados nesses polos. Dessa forma, Faraday determinava os elementos constituintes de suas amostras. Para verificar a ação química da eletricidade, ele imergia fios nas soluções e observava a medição da agulha de um galvanômetro que se mantinha estática, caracterizando uma corrente constante. (FARADAY, 1849, p. 135)

Em 1806, Freiherr Christian Johann Dietrich Theodor von Grotthuss (1785-1822), físico e químico alemão nascido em Leipzig, já havia proposto a primeira teoria da eletrólise³⁰ além de outros estudos sobre decomposição de líquidos por eletricidade voltaica. Faraday reconhecia os estudos de Grotthuss e chegou a relatar parte dos estudos desse cientista no primeiro volume de seu *Experimental Researches in Electricity*.

Grotthuss, no ano de 1805, escreveu expressamente a respeito da decomposição de líquidos pela eletricidade voltaica. Ele considerava a pilha uma espécie de ímã elétrico, que tinha a capacidade de atrair e repelir. Consequentemente os polos de uma pilha poderiam atrair os elementos de uma partícula de água, por exemplo, estando sujeita a essa força de atração e repulsão, agindo em direções contrárias. Nos polos, quando separados, os elementos constituintes da água se tornavam gases.

(FARADAY, 1849, p 136)

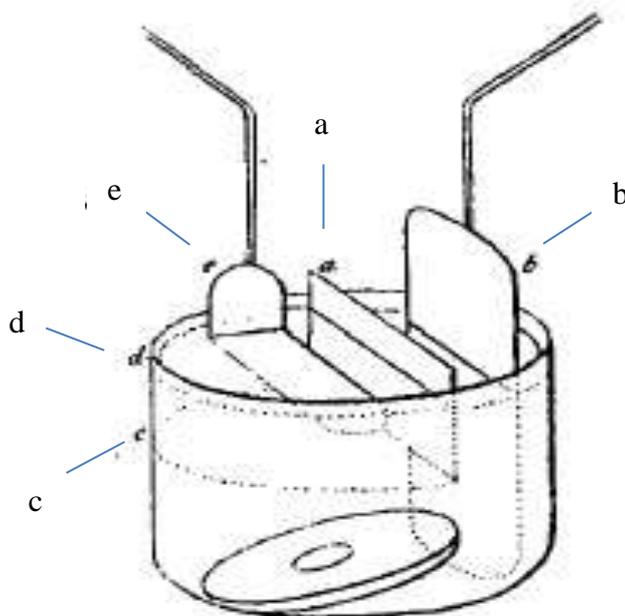
Conforme foi citado anteriormente, em 1806 Humphry Davy proferiu uma *Bakerian Lecture* intitulada de “*On Some Chemical Agencies of Electricity*” na qual expôs o poder de atração da superfície dos polos para com os elementos decompostos. Davy defendia que esse poder de atração, agia sobre todas as partículas presentes no meio e com o aumento da distância entre a solução a ser decomposta e o polo, resultava em uma perda de capacidade de decomposição do mesmo. (FARADAY, 1849)

Quando Davy retoma esse assunto em 1826 em outra *Bakerian Lecture*, sob o título “*On the Relations of Electrical and Chemical Changes*” ele relata não ter encontrado nenhuma evidência que alterasse a ideia original de Grotthuss, e utiliza os termos atração e repulsão com o mesmo sentido de vinte anos antes. (FARADAY, 1849)

A figura 19 ilustra um dos muitos experimentos que Faraday realizou sobre a decomposição eletroquímica.

³⁰ Estes estudos consistiam na passagem de corrente elétrica através de soluções. Grotthuss defendeu a ideia da migração de íons de cargas opostas em direção aos polos opostos.

Figura 19: Experimento de Faraday utilizando soluções diferentes na mesma célula eletroquímica



FONTE: FARADAY, 1849

Um recipiente de vidro com medidas aproximadas de 4 polegadas (10,16cm) de altura e 4 polegadas de diâmetro dividido por um anteparo de mica “a”, impermeável, com uma polegada e meia de altura (3,81cm). No lado direito era inserida uma placa de platina “b” (ligada ao polo positivo de uma bateria) até o fundo desse recipiente, o qual era preenchido cuidadosamente com solução de sulfato de magnésio. Uma placa de vidro impedia que essa solução preenchesse a porção esquerda do recipiente que havia sido dividido com o anteparo de mica. Nesta parte do recipiente foi adicionada água destilada, ocupando o espaço das marcações “c” e “d” e posteriormente inserida uma segunda placa de platina “e” (ligada ao polo negativo da bateria), quase que horizontalmente, estando em contato somente com a água destilada. (FARADAY, 1849)

Faraday observou a ocorrência de decomposição, em ambas as placas de platina, mas do lado da água, a intensidade da decomposição foi menor quando comparada a utilização de uma solução uniforme. Passado alguns instantes do experimento, houve a formação de magnésio, mas não no polo de platina e sim sob o plano “c” no qual as duas soluções se encontravam. Devido à formação de bolhas de hidrogênio no polo negativo e a conseqüente agitação da água destilada, as partículas de magnésio foram atraídas para a parte inferior do polo negativo. Ao finalizar o experimento, Faraday retirou os eletrodos de platina

do meio e medindo a acidez e alcalinidade dos líquidos de ambos, encontrou um meio ácido no polo positivo que estava em contato direto com a solução de sulfato de magnésio. (FARADAY, 1849)

Acreditamos que Faraday buscou compreender através desse experimento, a força atrativa que os polos exerciam nas espécies metálicas envolvidas em um processo de decomposição, mas limitando a distância de atuação do polo negativo sobre a solução de sulfato. Em sua obra, ele cita Grotthuss quando este descreve os polos exercendo forças atrativas e repulsivas, sendo que essas forças variavam inversamente aos quadrados das distâncias. (FARADAY, 1849, p. 142)

Faraday amplia seu campo de pesquisa quando começa a relacionar a quantidade de eletricidade fornecida ao sistema e a quantidade de matéria decomposta independente da sua constituição, podendo ser água, soluções salinas, ácidos ou substâncias fundidas. A ideia da atração dos polos ser a causa da decomposição eletroquímica não era totalmente sustentada por Faraday, o qual defendia que a decomposição era causada por essa atração, mas devia ser considerada a quantidade de eletricidade fornecida, além da força de atração dos polos serem maior do que a atração mútua entre as espécies formadoras das substâncias. (FARADAY, 1849, p. 145)

A decomposição eletroquímica era dependente da corrente aplicada ao sistema, qualquer que fosse a fonte dessa eletricidade e Faraday prossegue nos experimentos mostrando que a decomposição era proporcional a quantidade de eletricidade fornecida. (FARADAY, 1849)

A compreensão da ação eletroquímica por Faraday o levou a conclusões sólidas que culminaram nas chamadas “Leis da Eletroquímica de Faraday”. Podemos enumerar alguns postulados assimilados por ele no final de suas pesquisas. (FARADAY, 1849, p. 156-159)

- I. Os compostos químicos podem ser distribuídos em duas grandes classes: os passíveis de sofrer decomposição e aqueles não dissociáveis (os que sofriam decomposição foram chamados de eletrólitos);
- II. Às espécies decompostas foram chamadas de íons. Cátions e Ânions³¹, em menção a cátodo e ânodo;
- III. A valência desses íons se encontra diretamente relacionada com a proporção em que sofrem decomposição;

³¹ Essa nomenclatura foi cunhada juntamente com o auxílio de William Whewell (1794-1866), em 1834.

- IV. Uma decomposição nem sempre levará aos elementos constituintes da substância;
- V. A constituição dos eletrodos utilizados na decomposição não interfere diretamente na capacidade de separação das substâncias, desde que sejam condutores. No entanto, podem interferir no tipo de íons formados no meio.
- VI. Dependendo da constituição química do eletrodo, este poderá se combinar com o íon direcionado a ele.
- VII. O equivalente eletroquímico de um elemento é constante, independentemente de qual substância está sendo separada;

Esses experimentos propiciaram a Faraday um vasto conhecimento da atividade de eletrodecomposição. Os elementos podiam ser determinados diretamente pelos seus íons, tais como o oxigênio, o hidrogênio, o chumbo e o estanho ou através de deduções, conhecendo-se outros íons envolvidos no processo e seus equivalentes. (FARADAY, 1849)

Outra conclusão importante que Faraday obteve foi que, independente das espécies ligadas entre si, um determinado elemento possui sempre o mesmo equivalente eletroquímico³². (FARADAY, 1849)

As duas leis de Faraday para a eletroquímica, abordam justamente essas questões citadas. A primeira lei elucida que a massa depositada em um eletrodo é diretamente proporcional a quantidade de eletricidade que passa pelo eletrólito. Já a segunda lei, esclarece que uma mesma quantidade de eletricidade, ao passar por diferentes eletrólitos, causa a decomposição e eletrodeposição de espécies químicas nos eletrodos e as massas dessas espécies, são diretamente proporcionais a seus equivalentes eletroquímicos.

³² O equivalente eletroquímico de uma substância pode ser definido como a massa depositada quando uma corrente de um ampere atravessa a solução pelo tempo de um segundo. (1 A.s ou 1 Coulomb). Agora se sabe que ao passar aproximadamente 96.500 Coulombs através de uma solução, um equivalente-grama de qualquer íon é liberado. O termo equivalente-grama tornou-se obsoleto entre 1959-60 quando a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) unificou a unidade de massa atômica e a CIPM (*Comité international des poids et mesures*) definiu o mol em 1967-69. Retomando aos experimentos de Faraday, essa quantidade de carga, depositaria no eletrodo negativo, por exemplo, um mol de um íon de um metal monovalente, ou meio mol de um íon divalente, ou 1/3 de mol de um íon trivalente.

Capítulo IV

As Lectures e Seu Papel Como Educador

O Aprimoramento Científico de Faraday e suas Primeiras Palestras

Conforme citado anteriormente, Faraday iniciou seu ofício de palestrante, nas reuniões da CPS em 1816, quando ministrou seis conferências para o grupo. Todas foram preparadas com muita cautela e da compilação de Jones, feita das cartas de Faraday, podemos sentir a perplexidade de seus primeiros momentos diante de tão seleta plateia, no seguinte trecho:

Com muita desconfiança, me apresento a vocês esta noite como palestrante, na difícil tarefa de discursar sobre Química, uma ciência que requer uma mente nada ordinária para seguir em seu progresso. No entanto, confio que meus esforços para cumprir o meu dever como membro desta sociedade serão favoravelmente aceitos, embora possa falhar neles.

(Michael Faraday, *In* JONES, 1870, p. 211)

Faraday progrediu em seus conhecimentos e logo publicou seu primeiro artigo científico no *Quarterly Journal of Science*³³, intitulado “*Analysis of the Native Caustic Lime*”. Esse trabalho consistia na análise de uma amostra de cal caustico que havia sido encontrada nas águas de uma região montanhosa de Pisa, conhecida por Cigoli, sendo enviada à Londres dentro de uma garrafa praticamente sem ar em seu interior. Essa amostra pesava 188 gramas, sendo dessas, 117,05 gramas de água e 70,95 gramas de matéria seca. Os resultados obtidos por ele detectaram a presença de sílica, alumina, cal e óxido de ferro, em diferentes quantidades. (FARADAY, 1859, p. 3)

Faraday considerava diversas formas de se obter e aprimorar o conhecimento, dentre elas: a conversação, a qual ele valorizava bastante no período das reuniões na CPS, pois estava sempre trocando experiências com outros membros da sociedade, a prática de ministrar palestras, quando ele observava não só o aprendizado dos ouvintes, mas do próprio conferencista que deveria se preparar antecipadamente, estudar e fortalecer seus conceitos, a leitura, que ele considerava extremamente importante, visto que parte de seu conhecimento surgiu do período que trabalhou na livraria e tinha acesso a importantes obras e por último a

³³ Este periódico foi fundado pelo químico inglês William Thomas Brande (1788-1866). A partir de 1821, Faraday e John Millington (1779-1868) que era professor de mecânica na *Royal Institution*, se tornaram editores. Em 1830, o periódico se transformou em *Journal of the Royal Institution*, ficando sob incumbência de Faraday e assim permaneceu até 1832. (BRAKE, DEMOOR, 2009)

observação, a qual se relacionava principalmente aos experimentos em laboratório. (JONES, 1870)

As palestras que se sucederam em 1817, abordavam os mais diversos temas de química, desde a atmosfera, as propriedades do enxofre e do fósforo, do carbono, a combustão e os metais em geral. Ao se preparar para ministrar uma palestra, Faraday buscava obter conhecimento através de leitura, da experimentação e até mesmo por seu convívio com Humphry Davy, como assistente de laboratório na RI. (JONES, 1870)

Prosseguindo com o aprimoramento como cientista e palestrante, Faraday proferiu mais cinco palestras sobre química em 1818. Ele também ministrou uma palestra intitulada de “*Observations on the Inertia of the Mind*”, que mostra em algumas passagens, a forma dele pensar e analisar situações, além de sua didática. A aproximação com seu público, a busca por uma ciência utilitarista, o uso da linguagem adequada além do papel fundamental da experimentação, podem ser identificados neste texto.

Na segunda metade de 1819, Faraday entregou uma proposta de palestra à CPS que foi intitulada de “*On the Forms of Matter*”. Nela, Faraday classificou a matéria em quatro estados: sólido, líquido, gasoso e a matéria radiante que dependia de algumas propriedades essenciais. Esse último estado era por ele considerado, um estado hipotético que se amparava na experimentação para se comprovar a sua existência. Foram abordados nessa palestra, os processos de transição entre esses estados da matéria e destacada a dificuldade de mudança em algumas situações. Neste período, Faraday já possuía dezenove documentos publicados no *Quarterly Journal of Science* relacionados a suas pesquisas, dentre elas a difusão de gases através de tubos, que veio a ser futuramente pesquisada e confirmada por Thomas Graham (1805-1869) que elucidou a “Lei de difusão dos gases” em 1829. (JONES, 1870)

Em 1820, Faraday já possuía sete anos de experiência na qualidade de assistente pessoal de Davy além de ser auxiliar de laboratório e de salas de aula na RI. Dispunha de trinta e sete publicações no *Quarterly Journal*, já tinha apresentado o seu primeiro ciclo de palestras na CPS onde estava se tornando respeitado, enquanto palestrante e experimentador. (JONES, 1870)

A evolução do aprendizado de Faraday é notada em cartas direcionadas ao professor Charles Gaspard de la Rive³⁴ (1770-1834), físico Suíço que o ajudou em alguns momentos de sua vida como pesquisador e a Thomas Huxtable (s/d), amigo de Faraday das

³⁴ Em 1821, o professor De la Rive enviou à Faraday, um aparelho com um fio flutuante que sofria influência quando um ímã era aproximado. Esse equipamento foi importante para o desenvolvimento da pesquisa sobre eletromagnetismo que Faraday desenvolveu. (BENIGUI, 1990)

reuniões da CPS que compartilhou diversas ideias com ele ao longo dos anos, juntamente com Benjamim Abbott e Edward Magrath. (JONES, 1870)

Em uma correspondência datada de 24 de Março de 1823, Faraday descreve ao professor de la Rive, como efetuou as pesquisas com a liquefação do hidrato de cloro e consequente isolamento do cloro líquido, conforme já mencionado. No entanto, nota-se que ele já ansiava por mais publicações importantes ao relatar que Humphry Davy havia prometido um artigo na RS publicando os resultados da pesquisa de Faraday com a liquefação dos gases. (JONES, 1870)

Escrevi um artigo que foi lido na *Royal Society* no qual o presidente me fez a honra de anexar uma nota, explicando a aplicação geral e a importância do método de produção de gases líquidos sobre pressão. A pedido dele ampliei os experimentos e já obtive, ácido sulfuroso, ácido carbônico, óxido nitroso e cloro, todos livres de água. No entanto, alguns necessitam de grandes pressões para chegar a esse propósito e isso me ocasionou muitas explosões.
(Michael Faraday *In* JONES, 1870, p. 371)

No dia seguinte a esta correspondência, Faraday escreveu à Thomas Huxtable, relatando ter sofrido um acidente em seu laboratório, o que o impediu de convidar Magrath para visita-lo, nos mostrando como ainda manteve uma estreita relação com seus amigos de longa data, compartilhando suas pesquisas e experiências.

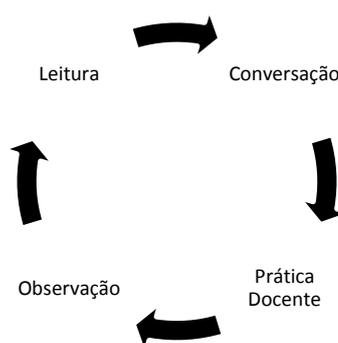
Deparei-me com outra explosão Sábado à noite, a qual mais uma vez, atingiu meus olhos. Era um de meus tubos e foi tão forte que parecia um tiro de pistola através de uma janela. No entanto, já estou melhorando e espero já enxergar bem nos próximos dias, inicialmente meus olhos estavam cheios de vidro. Quando você encontrar Magrath, diga a ele que pretendia chamá-lo, mas esse segundo acidente me impediu.
(Michael Faraday *In* JONES, 1870, p.372-373)

Michael Faraday como Palestrante da Royal Institution

Faraday iniciou suas palestras na RI em 1824, e continuou contando com as preciosas avaliações de Edward Magrath, como nos tempos de CPS. Como sempre, a leitura, a conversação, a prática docente nos auditórios da RI e na Academia Real Militar de Woolwich e a observação, eram preocupações constantes tanto no preparo, quanto em suas apresentações. Acreditamos que essas características interligavam-se de tal forma, que a obtenção de conhecimento teria uma sequência infinita, formando espirais cíclicas, pois Faraday estava sempre progredindo em seu conhecimento, não ficando, dessa forma, estagnado em um ciclo plano. Ao compreender alguma situação através da leitura, Faraday

utilizava-se da conversação para contestar e/ou concordar com aquele tema, nos revelando, dessa forma, a construção de seu conhecimento. A observação dos experimentos era uma maneira de se obter esse conhecimento, sendo alguns paradigmas obtidos dentro dos laboratórios, decisivos para forçá-lo a retomar a leitura, a conversação, ou ambos. A docência era aprimorada através desses métodos de análise e investigação além do meio do estudo sistemático do tema proposto, fornecendo à Faraday um incremento de conhecimento científico significativo ao se preparar uma palestra.

Figura 20: Esquema demonstrativo de como Faraday aprimorava seu conhecimento



FONTE: PRÓPRIOS AUTORES

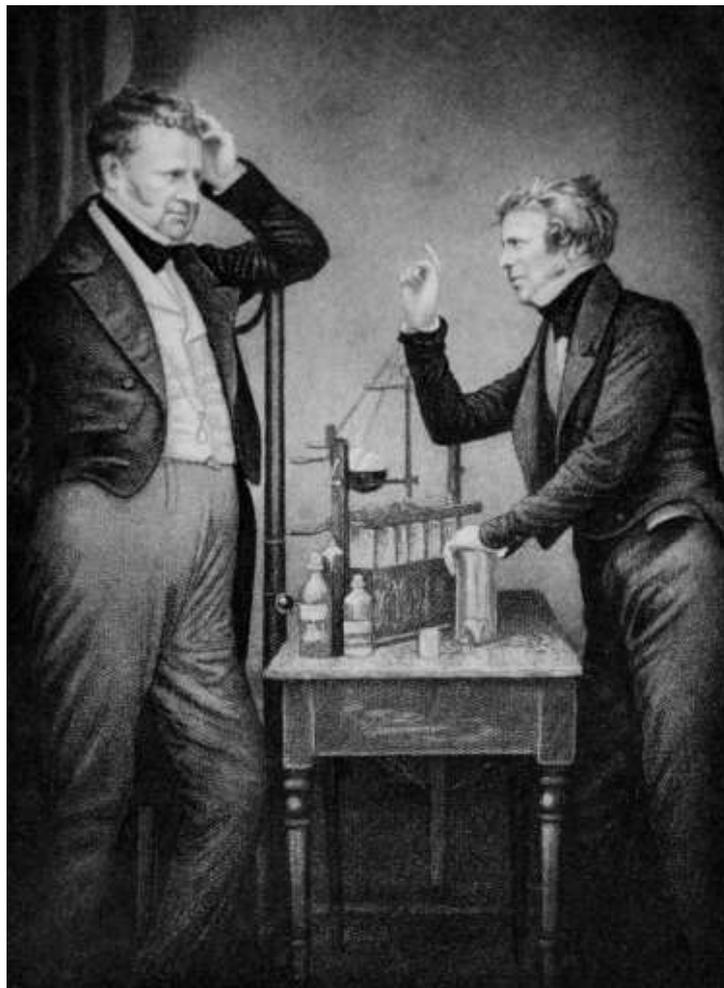
A divulgação da ciência, conforme Faraday a defendia buscava atingir o público de maneira simples, mas com certo rigor científico para incentivar os ouvintes a treinarem as suas mentes. A intenção de divulgar a ciência, de torná-la popular e acessível, era uma característica de Faraday, que via nela um meio para estruturar a educação dos jovens. (REIS, 2006)

A partir de 1825, elaborou-se na RI as *Christmas Lectures*³⁵ que foram, em parte, estruturadas por Faraday durante este ano. Ao longo de sua carreira, ele proferiu dezenove palestras entre os anos de 1827 e 1860 sendo estas, alternadas com outros cientistas, tais como William Thomas Brande, John Frederic Daniell³⁶, o botânico John Lindley (1799-1865) entre outros estudiosos. Essas palestras continuam até os dias atuais, não sendo oferecidas somente no período de 1939-42, devido à Segunda Guerra Mundial.

³⁵ Famosas palestras natalinas que ocorrem até os dias atuais na *Royal Institution*. Iniciaram-se em 1825 e são apresentadas ao público nas férias natalinas. Abordam diversos temas, desde química, física, astronomia, geologia, engenharia, biologia, até questões tecnológicas atuais.

³⁶ John Frederic Daniell foi contemporâneo de Faraday, ficando conhecido popularmente por ter concebido a “Pilha de Daniell”, projeto o qual foi publicado no *Philosophical Transactions* em 1836, se tornando um aperfeiçoamento das pilhas voltaicas disponíveis naquele tempo, visto que os eletrodos ficavam em compartimentos separados e havia uma ponte salina, a qual era responsável pelo fechamento do circuito elétrico. Esta pilha possuía uma capacidade e uma estabilidade muito superior a de Volta.

Figura 21: Fotografia de Faraday e Daniell



FONTE: PICTORIAL PRESS LTD

Sua última palestra, ministrada em 1860, talvez seja a mais conhecida, devido à publicação como obra literária em diversos idiomas além de peças teatrais. Intitulada de “*On the Chemical History of a Candle*” abordava conceitos de química além da prática docente, analisando-se o efeito de combustão de uma vela.

Outro projeto de divulgação, elaborado por Faraday, foi uma série de conferências intituladas de *Friday Evening Discourses*, as quais eram direcionadas a membros e convidados da RI. O destaque das palestras eram as ideias, as teorias e os experimentos, todos organizados de forma a proporcionar o entendimento dos conceitos científicos e a formar concepções e opiniões no público. (REIS, 2006)

De acordo com Peter Day (1999), Faraday defendia que uma palestra para ser popular, não poderia ter como objetivo principal o ensino. Através da utilização de manuais

providos de ilustrações, muitas delas feitas pelo próprio Faraday, bem como, dos experimentos que ele realizava publicamente, logrou ao estudioso conquistar grande sucesso nos meios científicos e acadêmicos da época. (DAY, 1999)

Figura 22: Michael Faraday em uma *Christmas Lecture* de 27 de Dezembro de 1855.



FONTE: [HTTP://WWW.RIGB.ORG/CHRISTMAS-LECTURES/HISTORY](http://www.rigb.org/christmas-lectures/history)

Trabalhos na Real Academia Militar de Woolwich

Em 1829, a academia militar real estabeleceu o cargo de professor de química. Localizada em Woolwich - mudou-se para Sandhurst e fundiu-se com o colégio militar em 1939 - tinha como sua principal função, treinar cadetes para a artilharia real e engenheiros reais. Devido à natureza cada vez mais técnica da guerra, os cadetes recebiam um intensivo treinamento em ciência. No verão de 1829, o tenente-coronel Charles William Pasley (1780-1861), que havia assistido às palestras de Faraday sobre química na RI, escreveu ao comandante da academia, Coronel Percy Drummond (s/d), recomendando Faraday como candidato ideal. Conforme palavras do próprio Pasley, “Faraday não é apenas dos melhores químicos atuais, mas certamente o melhor professor, qualidades nem sempre presentes ao mesmo tempo em uma mesma pessoa”. (CANTOR, GOODING, JAMES, 1991, p. 40)

Após algumas negociações com Drummond, Faraday foi nomeado professor de química em dezembro desse mesmo ano. Seu contrato especificava que ele deveria ministrar

vinte e cinco palestras por ano pelas quais receberia £200. Esses termos contratuais favoráveis indicavam como a academia estava ansiosa para obter seus serviços, visto que um professor de francês, que havia sido contratado na mesma época, recebia apenas £150 por ano trabalhando mais horas, além da condição de residir em Woolwich. O acordo deu a Faraday considerável liberdade econômica da RI, permitindo que ele dispensasse grande parte de seus trabalhos de consultoria. Por outro lado, durante aproximadamente seis meses, entre os anos de 1830 e 1851, ele dedicava dois dias da semana em Woolwich. No entanto, era um trabalho menos desgastante, comparado ao esforço e dedicação que ele anteriormente depositava nos projetos de pesquisa industrial da RI. Assumindo esse cargo em Woolwich, Faraday abandonou grande parte dessas pesquisas. (CANTOR, GOODING, JAMES, 1991)

O fato de M. Faraday passar dois dias da semana em Woolwich para ministrar apenas uma hora de palestra, indicava o cuidado que ele tomava ao preparar suas apresentações. Durante as negociações para sua contratação, ele esclareceu que as palestras de química, diferentemente das palestras sobre mecânica, deveriam ser preparadas individualmente cada vez que eram oferecidas, pois os compostos químicos envolvidos, não podiam ser estocados de um dia para o outro. Além disso, Faraday disse a Drummond logo após sua nomeação:

Acho que as palestras experimentais devem todo o seu valor para os experimentos e ilustrações visuais, pois, sendo dadas em conjunto com os detalhes teóricos, será este meu objetivo, fazer essas demonstrações tão distintas e impressionantes quanto possível.

(Faraday *in* CANTOR, GOODING, JAMES, 1991, p.41)

Historiadores e biógrafos especialistas em Faraday, afirmam não conhecer o conteúdo dessas palestras oferecidas aos cadetes, mas defendem a ideia de que eram muito semelhantes às palestras proferidas no anfiteatro da RI, uma vez que ele utilizava dos mesmos livros como referência, no entanto, acreditam que estas tinham maior ênfase nos usos militares da química, como por exemplo, nos explosivos. (CANTOR, GOODING, JAMES, 1991)

Essas palestras na academia mostravam que, não importava para quem Faraday estivesse falando, ele se dedicava ao máximo em prepará-las. Ele jamais consideraria a palestra como um mero trabalho de copiar uma palestra já proferida, tendo isso como um insulto para seu público, sendo assim, contrário a seus preceitos religiosos.

Diferentemente de outros grupos religiosos, os Sandemanianos, religião a qual Faraday seguia assiduamente, não foram impedidos de apoiar as forças armadas. Dessa forma,

como um cidadão leal a seu país, Faraday se sentia no dever de fornecer ao almirantado e ao exército, através da academia militar real, conhecimentos científicos. (CANTOR, GOODING, JAMES, 1991)

A consequência do trabalho de Faraday para com as atividades militares britânicas no tocante à ciência, não é muito claro. No entanto, acredita-se que o tema foi considerado importante o suficiente para a academia, pois se nomeou outro experiente químico inglês, Frederick Augustus Abel (1827-1902), como seu sucessor, logo após sua saída da instituição. (CANTOR, GOODING, JAMES, 1991)

A carta abaixo, escrita em 9 de Fevereiro de 1852 e destinada ao inspetor de ensino de Woolwich na época, Major-General Joseph Ellison Portlock (1794-1864) descreve a intenção de Faraday em deixar a instituição devido ao fato de já estar sentindo as consequências da idade.

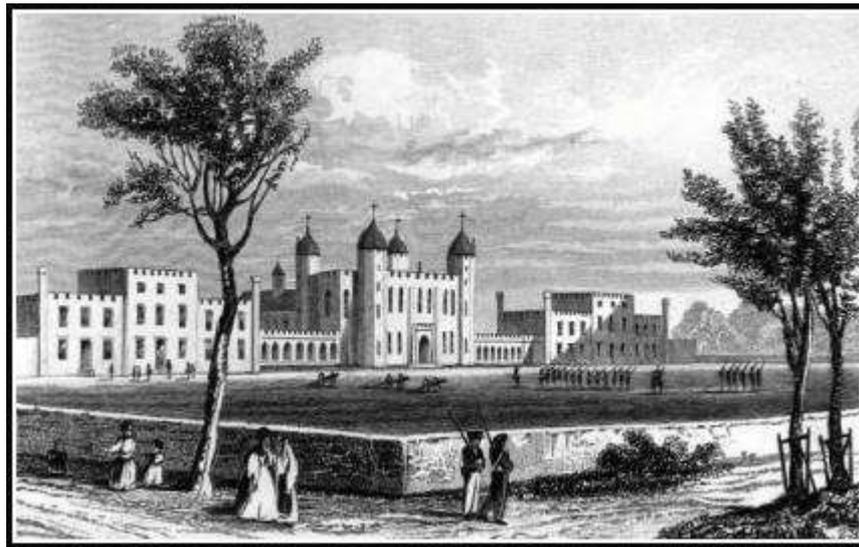
Caro Portlock,

Como já lhe relatei em nossa conversa, desejo me retirar do dever de ministrar palestras sobre química na *Royal Military Academy* em Woolwich, desde que isso não traga inconveniências para a instituição. Por vinte e dois anos, fui honrado em ministrar minhas palestras, mas minha memória está falhando e sinto que devo restringir um pouco meus esforços. Há muito tempo notei que, se fosse possível, os senhores cadetes deveriam ter instruções práticas combinadas com as palestras e elas têm minha total aprovação. Espero que você consiga estruturar tudo conforme suas vontades e para o bem da academia e com os mais gentis desejos e lembranças à meus amigos.

(Faraday in JAMES, 1999, p.363)

De acordo com o próprio Abel, seu sucessor na academia, apesar desta distanciar-se de 10.3 milhas (aproximadamente 16,5 Km) da RI, Faraday tinha um grande prazer de realizar suas viagens semanais à Woolwich, pois as tinha como uma fonte de relaxamento, adotando o hábito de ir à tarde ou à noite, preparar suas palestras e depois realizar passeios pela região. No dia seguinte, proferia a palestra aos cadetes. Faraday era muito respeitado e admirado como professor da academia e durante todos esses anos não sofreu nenhuma reclamação dos alunos, pois os tratava sempre de forma gentil e prestativa. (GLADSTONE, 1872)

Figura 23: *Royal Military Academy of Woolwich* no século XIX



FONTE: [HTTP://WWW.ROYALENGINEERS.CA/RMA.HTML](http://www.royalengineers.ca/rma.html)

Observations on Mental Education

Em 1854, Faraday entregou a RI o plano de uma palestra que abordava conceitos relativos à “educação mental”. Ele defendia a utilização deste termo a tudo que estaria relacionado com a melhoria da inteligência, através da aquisição de conhecimentos novos ou pelo aprimoramento dos já existentes, sendo importante a todas as pessoas, independente de suas condições. Ele afirmava que através de nossos sentidos, o conhecimento chega às nossas mentes, armazenado mesmo sem o nosso discernimento, podendo ser utilizado em diversas circunstâncias. No entanto, Faraday pressupunha que a mente deveria ser instruída em relação aos sentidos, sendo esse resultado, o efeito da educação. Uma instrução mal feita levaria a uma compreensão equivocada de fatos e situações. Dessa forma, erros seriam resultados do mau julgamento de determinadas questões e que nossos sentidos cumpriam a sua função ao observar uma situação, uma mudança de cor em um experimento, um odor exalado por uma reação química, mas uma instrução falha nos direcionaria a uma conclusão errada dessas situações. (FARADAY, 1854)

Faraday afirmava que, “diversas pessoas julgam-se capazes de tomarem decisões após analisarem uma situação de forma superficial, mas geralmente falham”. (p.47) À medida que estamos sujeitos a erros na interpretação de nossas percepções sensoriais, somos muito mais tendentes a errar quando deduzimos uma situação somente a partir dessas impressões, o que ele admitia ser perfeitamente aceitável, pois o julgamento a partir dos sentidos é da individualidade humana. (FARADAY, 1854)

Expondo o exemplo das Leis da Natureza, estas, devem ser minuciosamente examinadas e rigidamente julgadas, para que, de certa forma, sejam consistentes e transmitam confiança a quem as segue. No entanto, novas leis podem se sobrepôr às anteriores, passando a serem seguidas, talvez por serem mais produtivas nos resultados, ou por serem mais bem fundamentadas, ou pelo fato dos envolvidos em sua concepção possuírem um papel de destaque na sociedade à qual pertencem.

Faraday exemplificou essa questão com as Leis de Isaac Newton (1643-1727), as quais ofereciam meios simples de testar um determinado fato, mas questionou o porquê de não aplicarmos o nosso conhecimento ao que está sendo desenvolvido, ampliando assim nossa instrução, que após adquirida, nos permitia o retorno a um conteúdo desconhecido, mas com a capacidade de questioná-lo.

O estudioso utiliza de um exemplo: ao levantar uma mesa, pode-se tentar determinar qual a massa que se está segurando e seguindo as Leis de Newton, observar que esse mesmo peso exerce pressão sobre os dedos. Esse tipo de questionamento que Faraday defendeu ser capaz de aumentar o poder de investigação nas questões relacionadas à ciência, independente do contexto estudado. (FARADAY, 1854)

Ele lembra ainda que essa capacidade de se questionar e estimular melhor os nossos julgamentos podem ser desencadeadas pelo nosso senso comum. À medida que avançamos em nossa instrução devemos nos tornar críticos mais aguçados do que qualquer outro. Uma maneira de exercitar a mente e que influencia diretamente nosso poder de avaliação em diversos casos, segundo Faraday, é o hábito de organizar as ideias de forma clara e precisa. Caso venhamos a retomar essas ideias posteriormente, mas julgando-as com um propósito de identificar nosso modo de pensar, nos surpreenderemos em relação à quão imprecisas elas eram. (FARADAY, 1854)

Outra questão abordada nesse texto de Faraday é a relação de comunicação entre duas pessoas. O papel da linguagem nesses casos é indispensável, pois ele sustentava a impossibilidade de duas pessoas discutirem seus conhecimentos e suas conclusões mutuamente, sem estarem utilizando de uma mesma linguagem. Adotando-se de termos como “atração”, “eletricidade” e “polaridade, ele defendia que estes, poderiam expressar significados diferentes dependendo do contexto. Levando em consideração essa teoria, os alunos devem sempre estar envolvidos e dedicados a formarem ideias exatas, sabendo expressá-las claramente. (FARADAY, 1854)

A educação que Faraday defendia, exigia paciência e trabalho, pautados na capacidade de pensamento e julgamento das questões, que objetivavam a construção do

conhecimento. O primeiro passo seria identificar suas deficiências e saná-las, feito isso, o conhecimento viria de forma gradual e amparado na capacidade de autocrítica, o aperfeiçoamento da mente seria, simplesmente, uma questão de tempo. Não importava qual era o assunto a ser aprendido, não importava qual a capacidade intelectual, Faraday sempre defendia que a educação era capaz de elevar a posição social de uma pessoa. (FARADAY, 1854)

Considerações Finais

Para além de um percurso biográfico direcionado para os propósitos deste estudo, abordamos os conceitos elétricos, desde suas raízes mais consolidadas até as pesquisas eletroquímicas de Faraday, visto que, sem tais conceitos, que se estabeleciam nos referidos séculos, não seria possível empreender o trajeto trilhado por Faraday no estabelecimento de suas Leis Eletroquímicas.

A metodologia que ele utilizava para divulgá-las ao público leigo da *Royal Institution* em Londres no século XIX também mereceu nossa atenção, na medida em que esse era o momento professoral de Faraday e não faltam depoimentos do próprio pesquisado relatando o prazer que ele tinha nesse ofício, bem como de seus biógrafos contemporâneos, como Henry Bence Jones (1813-1873), secretário da RI entre os anos de 1860-73 e grande amigo de Faraday, ou dos recentes, como Frank James. Além do mais, o êxito dessas palestras se mede pelo fato de até os dias de hoje elas atenderem a um ávido público, sendo montadas no mesmo local e nos mesmos estilos do cientista Michael Faraday.

Conforme retratado nessa dissertação, algumas características de Faraday puderam ser percebidas, como sua ousadia, curiosidade, viés experimentalista, e uma que consideramos de grande importância, a sua busca por estar em constante contato com aqueles que ele considerava detentores do mais fascinante dos conhecimentos, - ou a que eles se dedicavam – no final do século XVIII e no início do XIX; a eletricidade e as suas aplicações científicas.

Muitos foram os estudiosos a quem Faraday recorreu, por cartas, assistindo as palestras, em reuniões de debate, estudando as obras, prestando serviços como auxiliar. Independente de sua ocupação na comunidade acadêmica, não deixou de receber a atenção desses renomados e influentes cientistas na Europa do século XIX. O que nos mostra uma visão de ciência construída “a várias mãos e mentes”, diferente da concepção de senso comum que a percebem como algo individual, solitário, reservada a poucos. Sem menosprezar a capacidade intelectual do cientista, mas Faraday angariou grande sucesso no meio científico da época devido à grande ajuda e parceria que conquistou ao longo de sua trajetória, reconhecida em suas próprias obras.

Esta dissertação trouxe apenas um recorte histórico das contribuições do extenso e importante trabalho de Faraday para a ciência e traços do perfil de educador do cientista. Apesar de seus estudos transpassarem barreiras e atingirem outros setores da sociedade

contemporânea, nos dedicamos a estudar apenas esse importante fragmento de sua longa trajetória, que foram os estudos eletroquímicos.

Sendo assim, vislumbramos a partir desse trabalho outras possibilidades de pesquisas, tais como investigação de seus trabalhos sobre ouro coloidal, o que hoje chamamos de nanopartículas, um aprofundamento nas pesquisas envolvendo a liquefação dos gases e a síntese do benzeno dialogando com suas influências na química e na sociedade, além de estudarmos os impactos que a eletroquímica provocou na metalurgia e no desenvolvimento industrial dos séculos XIX e XX.

Referências

- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. Centenário Simão Mathias: documentos, métodos e identidade da História da Ciência. **Circumscribere**, v. 4, n° 6, p. 5-9, 2008.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; BELTRAN, Maria Helena Roxo (Org.). **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Livraria da Física, 2005. 229p.
- ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **O que é História da Ciência?** São Paulo: Brasiliense, 1994. 94p.
- ADAMS, George. **An essay on electricity, the theory and practice of that useful science**. Londres: Tycho Brahe's – Head, 1785, 538p.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**, Trad: Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011. 223p.
- BELTRAN, Maria Helena Roxo. Humphry Davy e as cores dos antigos. **Química Nova**, v. 31, n° 1, p. 181-186, 2008.
- BENGUIGUI, Isaac. **Trois physiciens genevois et l'Europe savante: les De la Rive, 1800-1920**. Gênova: Georg, 1990. 183p.
- BOSS, Sérgio Luiz Bragatto; CALUZI, João José. Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n° 4, p. 635-644, 2007.
- BOSS, Sérgio Luiz Bragatto; CALUZI, João José. Uma breve biografia de Stephen Gray (1666-1736). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n° 1, p. 1602-1 – 1602-9, 2010.
- BRANDE, William Thomas. **A manual of Chemistry**. v. 1. Londres: John Murray, Albermarle-Street, 1821. 896p.
- BRAKE, Laurel; DEMOOR, Marysa. **Dictionary of nineteenth-century journalism in Great Britain and Ireland**. Londres: Academia Press and the British Library, 2009. 1014p.
- BUCI, Júlia Rabello. **Humphry Davy e a questão da classificação do potássio e do sódio**. Dissertação, USP, São Paulo, 2012. 103f.
- CANTOR, Geoffrey; GOODING, David; JAMES, Frank. **Faraday**. Londres: MacMillan Education Ltd, 1991. 124p.
- CANTOR, Geoffrey. **Michael Faraday sandemanian and scientist: A study of science and religion in the nineteenth century**. Nova York: Macmillan and St. Martin, 1991. 359p.
- CROWTHER, James Gerald. **Scientists of the industrial revolution**. Filadélfia: Dufour Editions, 1963. 365p.

DAVY, Humphry. An account of some experiments on the torpedo. **Philosophical Transactions of Royal Society**, v. 119, p. 15-18, 1829.

DAVY, Humphry. **Elements of Chemical Philosophy**, v. 1. Philadélfia: Bradford and Inskeer, 1812. 341p.

DAVY, Humphry. **Researches, chemical and philosophical; chiefly concerning nitrous oxide, or dephlogisticated nitrous air, and its respiration**. Londres: Printed J. Johnson, 1800. 591p.

DAY, Peter. (Comp.) **The philosopher's tree**. Bristol: IOP Publishing Ltd, 1999. 212p.

DEVONS, Samuel. **Volta and Galvani: new electricity from old**. Nova York: Columbia University, 1796. 79p.

DIAS, Valéria Silva; MARTINS, Roberto de Andrade. Michael Faraday: O caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004.

DORSMAN, Cornelis; CROMMELIN, Claude August. The invention of the Leyden jar. **Communication n° 97 from the National Museum of the History of Science Leyden**. Reprint from Janus 46, 1957.

FARADAY, Michael. **Experimental researches in Chemistry and Physics**. Londres: Richard Taylor and William Francis, 1859. 496p.

FARADAY, Michael. **Experimental researches in electricity**, v.1. Londres: Richard and John Edward Taylor, 1849. 574p.

FARADAY, Michael. **Faraday's diary**, v. 1. Londres: G. Bell and Sons LTD, 1932. 430p.

FARADAY, Michael. **Faraday's diary**, v. 2. Londres: G. Bell and Sons LTD, 1932. 467p.

FARADAY, Michael. Observations on mental education. *In* **Lectures on Education**. Londres: Savill and Edwards, 1854. 316p.

FIGUIER, Louis. **Les merveilles de la science ou description populaire des inventions modernes**. Paris: Librairie Furne Jouvot et Cie Editeur, 1867. 743p.

FISHER, Sydney George. **The true Benjamin Franklin**. Philadélfia: J. B. Lippincott Company, 1903. 381p.

GAY-LUSSAC, Louis Joseph; THÉNARD, Louis Jacques. Des Mémoires lus à l'Institut National, depuis le 7 mars 1808 jusqu'au 27 février 1809. In: BERNARD, Madame Vouve. **Mémoires de Physique et de Chimie, de la Société d'Arcueil**. Paris: H. L. Perronneau, 1809. 498p.

GLADSTONE, John Hall. **Michael Faraday**. Londres: Macmillan and Co., 1872. 223p.

GROTTHUSS, Theodor von. Sur la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution à l'aide de l'électricité galvanique. **Annales de Chimie**, v. 58, p. 54-73, 1806.

HACKMANN, Willem Dirk. **Electricity from glass: the history of the frictional electrical machine (1600-1850)**. Londres: Springer London, 1978. 323p.

HAMILTON, James. **A life of discovery: Michael Faraday, giant of the scientific revolution**. Nova York: Random House, 2002. 496p.

HAMILTON, James. **Faraday: the life**. Nova York: Harper Collins Publishers Ltd, 2003. 496p

HARRIS, William Snow. **Rudimentary treatise on galvanism and the general principles of animal and voltaic electricity**. Londres: John Weale, 1856. 263p.

HUDSON, John. **The History of Chemistry**. Londres: The Macmillan Press LTD, 1992. 285p.

JAMES, Frank. **The correspondence of Michael Faraday: 1811-1831**. v. 1. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 1991. 724p.

JAMES, Frank. **The correspondence of Michael Faraday: 1832-1840**. v. 2. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 1993. 864p.

JAMES, Frank. **The correspondence of Michael Faraday: 1841-1848**. v. 3. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 1996. 896p.

JAMES, Frank. **The correspondence of Michael Faraday: 1849-1855**. v. 4. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 1999. 1069p.

JAMES, Frank. **The correspondence of Michael Faraday: 1855-1860**. v. 5. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 2008. 896p.

JAMES, Frank. **The correspondence of Michael Faraday: 1860-1867**. v. 6. Londres: The Institution of Engineering and Technology, 2011. 992p.

JAY, Mike. Introduction *In*: GREEN Adam. **Oh excellent air bag: under the influence of nitrous oxide, 1799–1920**. Cambridge: The PDR Press, 2016. 146p.

JONES, Henry Bence. **The life and letters of Faraday**. v. 1. Londres: Longmans, Green, and CO., 1870. 471p.

JONES, Henry Bence. **The Royal Institution: Its founder and the first professors**. Londres: Longmans, Green, and CO., 1871. 431p.

KIPNIS, Nahum. Changing a theory: the case of Volta's contact electricity. **Nuovo Voltiana**, v. 5, 143-162, 2003.

KIPNIS, Nahum. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. **Annals of Science**, v. 44:2, 107-142, 1987.

KNIGHT, David. Establishing the Royal Institution: Rumford, Banks and Davy *In: The common purposes of life: science and society at the Royal Institution of Great Britain*. Farnham: Ashgate Publishing, 2002. 472p.

KUHN, Thomas Samuel. **A estrutura das revoluções científicas**. Trad: Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva S. A., 2002. 218p.

MAGALHÃES, Antônio de Pádua. William Gilbert e o de magnete. *In: ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria; BELTRAN, Maria Helena Roxo. (orgs.). O saber fazer e seus muitos saberes: experimentos, experiências e experimentações*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. 400p.

MARTINS, Roberto de Andrade. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre galvanismo e a eletricidade. *Acta Scientiarum*. v. 21(4), p. 823-835, 1999.

MARTINS, Roberto de Andrade. O contexto da invenção e divulgação da pilha elétrica por Alessandro Volta. p. 285-290. *In: GOLDFARB, José Luiz; FERRAZ, Márcia Helena Mendes (eds.). Anais do VII Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia*. São Paulo: Sociedade Brasileira de História da Ciência, 2000.

MILLAR, David; MILLAR, John; MILLAR, Ian; MILLAR, Margareth. **The Cambridge dictionary of scientists**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 399p.

MORAES, Roque. Uma tempestade de luz: A compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 9, n. 2, p. 191-210, 2003.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do Carmo. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. *Ciência e Educação (Bauru)*, v. 12, n.1, p. 117-128, 2006.

MULATTI, Edaival. **As origens da Royal Institution (1799-1806): “Ciência Útil” e difusão do conhecimento**. Dissertação. São Paulo: PUC-SP, 2008. 92f.

NICHOLSON, William. Account of the electrical or galvanic apparatus of sig Alex Volta. *Journal of Natural Philosophy, Chemistry, and the Arts*, v. 4, p. 179-187, 1801.

O'BRIEN, Pdraig. **Warrington Academy, 1757-86: Its predecessors and successors**. Lancashire: Owl Books, 1989. 164p.

OLIOSI, Elisa Cristina. **Os estudos de Joseph Priestley (1733-1804) sobre a teoria da eletricidade**. Tese. São Paulo: PUC-SP, 2010. 122f.

PANCALDI, Giuliano. On hybrid objects and their trajectories: Beddoes, Davy and the battery, *The Royal Society Journal of the History of Science*, 63, p. 247-262, 2009.

PARIS, John Ayrton. **The life of Sir Humphry Davy**, v. 1. Londres: Henry Colburn and Richard Bentley, 1831. 416p.

PRIESTLEY, Joseph. **The history and present state of electricity**, v. 1. Londres: C. Bathurst and T. Lowndes, 1775. 563p.

REIS, João Batista Alves. **A arquitetura metodológica de Michael Faraday**. Tese. São Paulo: PUC-SP, 2006. 124f.

REIS, João Batista Alves. **A teoria magnética de Michael Faraday: experimentos e ideias sobre o diamagnetismo**. Dissertação. São Paulo: PUC-SP, 2000. 120f.

SCHECHNER, Sara. The art of making Leyden jars and batteries according to Benjamin Franklin. **eRittenhouse Journal**, v. 26, 2015.

SIEGFRIED, Robert. Lavoisier's view of the gaseous state and its early application to Pneumatic Chemistry. **Isis**, v. 63, n° 1, p. 59-78, 1972.

THOMAS, John Meurig. **Michael Faraday and the Royal Institution**. Londres: IOP Publishing Ltd, 1991. 246p.

THOMSON, Janet. **The scot who lit the world: the story of William Murdoch, inventor of gas lighting**. Glasgow: Janet Thomson, 2003. 140p.

THOMSON. Thomas. **A system of Chemistry in four volumes**. v. 1, Londres: Baldwin, Cradock and Joy, 1818. 470p.

THOMPSON, Silvanus Phillips. **Michael Faraday: his life and work**. Londres: Cassell And Company, 1901. 330p.

THORPE, Thomas Edward. **Joseph Priestley**. Londres: J. M. Dent & Co., 1906. 232p.

TOLENTINO, Mario; ROCHA-FILHO, Romeu Cardozo. O bicentenário da invenção da pilha elétrica. **Química Nova na Escola**, n. 11, p. 35-39, 2000.

TYNDALL, John. **Faraday as a discoverer**. Londres: Longmans, Green, And CO., 1868. 171p.

TYNDALL, John. **Lessons in electricity at the Royal Institution: 1875-1876**. New York: D. Appleton And Company, 1895. 113p.

YIN, Robert. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205p.