

Estudos de eletroquímica e as aproximações com a estrutura da matéria no século XIX

Mateus Carneiro Guimarães dos Santos^{1*}, Matheus Júnior Baldaquim², Maiara Fantinelli³, Pamela Franco³, Flávia Caroline Bedin⁴, Neide Maria Michellan Kiouranis⁵

¹Doutorando em Ensino de Química da Universidade de São Paulo, Instituto de Química, São Paulo, São Paulo/Brasil, ²Doutorando em Ensino de Química da Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Química, Londrina, Paraná/Brasil, ³Mestrandos em Ensino de Ciências da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná/Brasil, ⁴Doutoranda em Ensino de Ciências da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná/Brasil, ⁵Professora de Ensino de Química da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná/Brasil. *carneiraum2@gmail.com.

Recebido em: 30/03/2019 Aceito em: 15/04/2019 Publicado em: 31/05/2019

RESUMO

Baseando-se nas diversas evidências a favor da inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências, esse trabalho teve como foco a busca por evidências que relacionassem a eletroquímica com as descobertas da estrutura da matéria no século XIX. Toda a pesquisa foi realizada com fontes primárias e secundárias, em grande parte encontradas no acervo da biblioteca do *Museo Galileo*, localizado na cidade de Florença na Itália. Essa pesquisa foi realizada entre os meses de janeiro e fevereiro em loco, os temas buscados foram Eletroquímica, Alessandro Volta, Humphry Davy e Michael Faraday. O recorte temporal foi realizado buscando uma melhor elucidação dos dados obtidos. Foi possível relacionar as ideias de Volta, Davy e Faraday que estavam intimamente ligadas as descobertas da estrutura da matéria.

Palavras-chave: História da ciência. Michael Faraday. Estrutura da matéria.

Electrochemical studies and approaches with the structure of matter in the nineteenth century

ABSTRACT

This work focused on the search for evidence that related electrochemistry to the discoveries of the structure of matter in the nineteenth century. All the research was carried out with primary and secondary sources, being mostly found in the collection of the library of the Galileo Museum, located in the city of Florence in Italy. This research was conducted between January and February *in loco*, the subjects sought were Electrochemistry, Alessandro Volta, Humphry Davy and Michael Faraday. The desired temporal cut was performed in order to better elucidate the obtained data. It was possible to relate the ideas of Volta, Davy and Faraday that were intimately linked to the discoveries of the structure of matter.

Keywords: Michael Faraday. Structure of matter.

INTRODUÇÃO

Diversos documentos oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), Orientações

Curriculares de 2006 e Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) sugerem o uso da História da Ciência na Educação Básica. A preocupação com ensino de ciências, a perspectiva em promover a humanização da ciência e do trabalho do cientista, requer a compreensão da ciência como uma construção humana inserida em um contexto socioeconômico e cultural (BELTRAN, 2015; SOUZA, 2015).

Com base nestes fatores refletidos nos documentos oficiais, um número crescente de trabalhos de pesquisas relacionados com História e Filosofia da Ciência (HFC) vem ganhando importância por parte dos educadores de ensino de ciências e indicam que a inserção da HFC pode contribuir para o desenvolvimento de competências necessárias à formação de cidadãos do século XXI, humanização da ciência no contexto histórico, cultural e epistemológico, aproximar o estudante dos fatos científicos, compreensão da Natureza da Ciência (NdC) e desmistificação do conceito de gênios (BELTRAN, 2013; MATTHEWS, 1995, 1998; OKI, 2008; SANTOS, 2017) de forma indireta e direta.

Dentre os diversos conteúdos da disciplina química que podem ser trabalhados junto à HFC, um dos que nos chama atenção é o conceito de eletroquímica. Geralmente lecionado no segundo ano do ensino médio, esse conteúdo traz consigo diversos obstáculos para que o estudante consiga êxito no processo de ensino-aprendizagem. Ogude e Bradley (apud CARMEL, 2011, p. 9) afirmam que muitos estudantes conseguem realizar problemas de caráter quantitativo referente aos conceitos de eletroquímica, porém quando a questão é de natureza qualitativa, os mesmos alunos não conseguem responder. Caramel (2011) afirma que esse efeito é causado pelo motivo dos estudantes conhecerem muito pouco sobre o mundo microscópico relacionado com a corrente elétrica (CARMEL; PACCA, 2011).

Visto essa problemática e as possíveis contribuições que o estudo da eletricidade do século XIX trouxe para o entendimento da estrutura da matéria no foco microscópico, esse trabalho tem como objetivo principal a realização de um recorte histórico bibliográfico e documental sobre cientistas/químicos e suas descobertas sobre a eletricidade e eletroquímica que estão intimamente relacionados com a estrutura da matéria

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em janeiro e fevereiro de 2018 na biblioteca do *Museo Galileo, Istituto e Museo di Storia della Scienza* localizado na cidade de Florença, na

Itália. Direcionando a busca para termos como eletroquímica, eletricidade, estrutura da matéria, Alessandro Volta, Humphry Davy e Michael Faraday. Sendo assim, a pesquisa teve caráter qualitativo, de forma a ser realizada principalmente com fontes bibliográficas e documentais que estavam disponíveis para acesso na biblioteca do museu.

Segundo Martins (2011) a pesquisa em história da ciência é realizada por meio de diversos documentos, sejam eles de fontes primárias (escritos do próprio cientista) ou de fontes secundárias (obras de outros autores que falam sobre o cientista ou fato desejado), ambas as fontes podem ser já publicadas ou inéditas, entretanto Martins afirma que quanto mais se aproximar dos “originais” mais concretos serão as discussões na pesquisa, pois o pesquisador muitas vezes não pode confiar inteiramente nas traduções. Sendo assim, deve-se sempre que possível se apoiar nos trabalhos originais de um cientista (MARTINS, 2005).

Neves (1996) explica que a pesquisa documental é geralmente efetuada com matérias como livros, cartas, manuscritos e diários que ainda não passaram por um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reanalisados para uma busca por novas evidências e interpretações. Martins (2011) afirma que para uma pesquisa que tenha como tema a HFC, é imprescindível a realização da análise de documentos históricos sobre o objeto de investigação (NEVES, 1996).

Já a pesquisa bibliográfica, também de caráter imprescindível para a HFC, sendo muitas vezes o primeiro passo para dar início a pesquisa em HFC. Nela devemos utilizar todas as fontes que são encontradas sobre determinado tema, principalmente em artigos de revistas científicas especializadas (HELENA; MARTINS, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1-Alessandro Volta

No final do século XVIII um italiano, professor de anatomia da *Università di Bologna*, mais conhecido como Luigi Galvani, médico e filósofo de formação, publicou uma monografia intitulada: *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari*, onde chegou à conclusão de que a eletricidade tinha origem animal e que os músculos tinham a mesma capacidade da garrafa de Leyden (um tipo de capacitor rudimentar), de armazenar energia elétrica. Galvani chegou a essa conclusão após uma série de experimentos. Durante vários anos esses experimentos mostravam que sempre que um semiarco

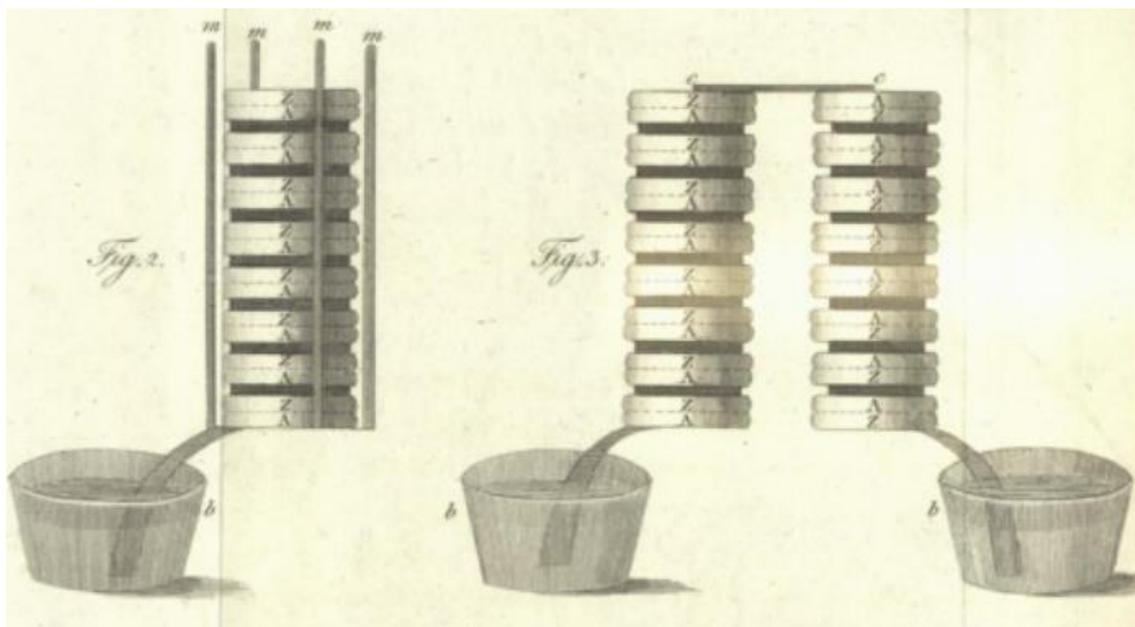
metálico mantivesse contato com os nervos da pata de uma rã, ela se contraía (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 2000).

Como naquela época o assunto de eletricidade era muito estudado, logo a notícia se espalhou e atingiu as mais diversas universidades da Europa, incluindo a *Università di Pavia* onde em um primeiro momento o professor de física, Alessandro Volta, mostrou uma certa admiração com a descoberta.

Alessandro Giuseppe Antonio Anastácio Volta, nascido na cidade de Como, no Dia 18 de fevereiro de 1745, só começou a falar com quatro anos de idade, e aos seis anos deu início aos estudos filosóficos e de retórica junto com os jesuítas por pressão de sua família de origem burguesa. Desde pequeno Alessandro demonstrava o interesse pelas ciências naturais e as estudou de forma autodidata logo após abandonar a escola dos jesuítas. No ano de 1774 se tornou professor de física na *Regie Scuole di Como*, como professor ele continuou seus estudos focando na eletricidade e nos estudos dos gases. Após três anos e grande reconhecimento nos meios científicos da época (em especial pelo aprimoramento do eletróforo e o isolamento do metano presente no Lago *Maggiore* na Itália), foi nomeado para a cátedra de física na *Università Di Pavia*.

Após alguns anos de estudos sobre as teorias de Galvani que afirmavam a existência de um tipo de eletricidade originada de corpos vivos. Volta propôs uma outra explicação para o fenômeno. Criando assim um dos maiores e mais conhecidos embates da ciência. Alessandro Volta estava procurando evidências para embasar a sua teoria de que metais em contato produziam eletricidade artificial (no século XVIII os cientistas achavam que existiam vários tipos de eletricidade, animal, artificial, comum, natural, positiva e negativa e etc). Na segunda metade do ano de 1799, após vários experimentos, surgiu a ideia de sobrepor dois tipos diferentes de metais, como por exemplo Prata (Ag) e Zinco (Zn) separados por um pedaço de papelão umedecido com água, ou em uma solução de água com Cloreto de Sódio (NaCl). Volta notou que as tensões elétricas se somavam quanto mais “pilhas” de Ag/Zn e papelão umedecido ele empilhava, ver Figura.1 (VOLTA, 1800).

Figura 1 – Ilustração da pilha de volta em uma carta a *sir* Joseph Banks.

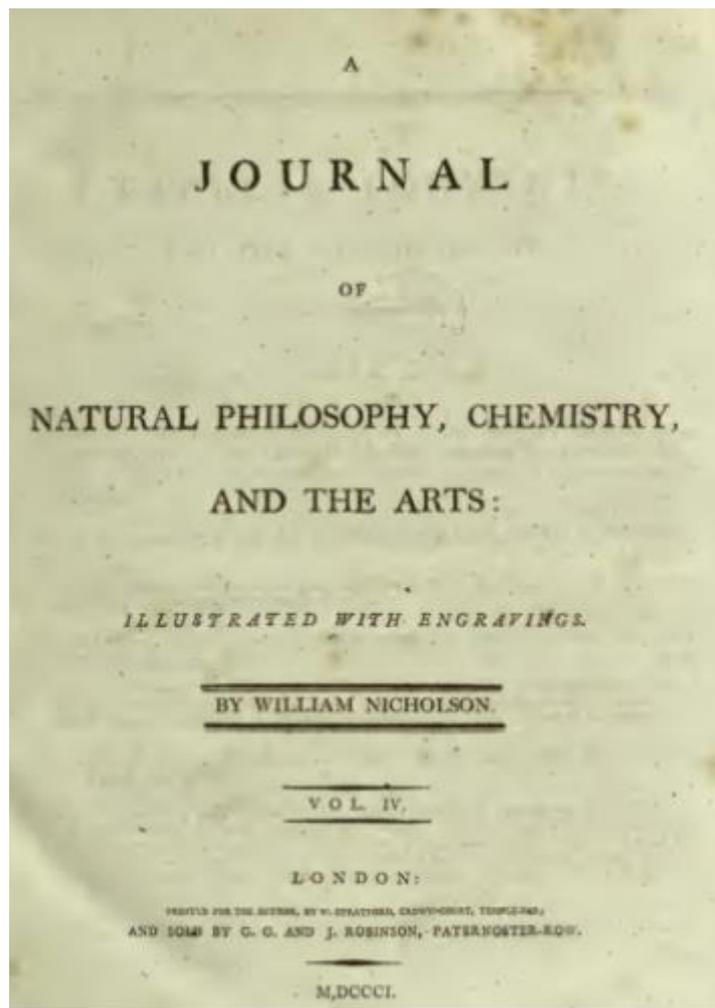


Alessandro Volta só divulgou sua descoberta em março de 1800, através do envio de uma carta em escrita em francês para *sir* Joseph Banks da Royal Society em Londres. Logo após ficar cientes das descobertas do italiano, Banks apresentou a carta para Anthony Carlisle e William Nicholson (NICHOLSON, 1800). Os dois britânicos logo construíram diversas pilhas e assim realizaram a primeira eletrólise da água por meio da pilha de Volta, Nas palavras do próprio Nicholson:

Nós fomos induzidos por nosso raciocínio a esperar uma decomposição da água pela primeira aparição do hidrogênio (...) o hidrogênio liberado foi encontrado no contato com um fio; enquanto o oxigênio se fixou em combinação com o outro fio à distância de dois centímetros. (NICHOLSON, 1800, p. 183).

Naquela época os cientistas achavam que a distância entre os polos interferiam na ação de decomposição. Então a maioria dos estudos traziam informações das distâncias entre os polos. Apesar desse erro conceitual, os dois cientistas fizeram grande progresso ao realizar a eletrólise da água utilizando a Pilha de Volta, abrindo assim uma nova série de possibilidades para os estudos que tentariam desvendar a estrutura da matéria no século XIX.

Figura 2 – Capa do periódico que contém o artigo de Nicholson.



2-Humphry Davy

Nascido em dezembro de 1778 na cidade de Penzance, Inglaterra. Humphry Davy, Figura.3, foi um dos cientistas mais brilhantes de sua época, lembrado até os dias de hoje por suas enormes contribuições na química dos gases, eletrólise e estrutura da matéria. Também é considerado um dos primeiros cientistas profissionais do mundo. Com origens humildes, Davy começou a trabalhar cedo, aos 16 anos era aprendiz de cirurgião na cidade de Penzance. Naquela época para se tornar cirurgião não era necessário ser formado em alguma universidade, apesar disso, ele iniciou uma série de estudos sobre física, matemática, teologia e botânica (DAVY, 1928).

Seu interesse por ciência era visto desde criança, com a chegada da idade adulta esse interesse só aumentou. Aos 18 anos o aprendiz de cirurgião deu início aos seus estudos em química, com a leitura do trabalho de Lavoisier. Com o advento de sua amizade com Gregory Watt, Davy conheceu um médico chamado Thomas Beddoes que

trabalhava na Pneumatic Institution. O médico inglês ofereceu uma vaga de emprego para o jovem aprendiz de cirurgião, e assim Davy teve a sua primeira oportunidade de trabalhar com química, trabalhando com os efeitos fisiológicos do óxido nitroso (N_2O), conhecido pelo nome de gás hilariante. Após um mês de trabalho, Davy obteve óxido nitroso de forma pura e, assim conseguiu determinar suas propriedades e sua composição.

Figura 3 – Retrato de Humphry Davy disponível no acervo do Museu Galileo.



No início do século XIX, com o advento da Pilha de Volta e os estudos da composição da água de Nicholson, todos os químicos, físicos e pessoas que se interessavam por ciência voltaram suas atenções para a eletricidade. Com Humphry Davy não foi diferente, após ler o trabalho de Volta e de Nicholson, o químico inglês tinha algumas objeções sobre as conclusões do cientista italiano. Davy pensava que uma ação química gerava a corrente na pilha e não acreditava que a eletricidade era gerada pelo simples contato de dois metais distintos.

Assim, ele deu início aos seus próprios experimentos com eletricidade. Observando que ao passar corrente elétrica por algumas substâncias elas se decompunham, assim como Nicholson observou no experimento da água. Davy

verificou que a força elétrica gerava corrente só quando oxidava um dos metais que participavam da célula eletrolítica, e propôs que a força elétrica mantinha os elementos químicos juntos (PIZZI, 2004).

Após seus experimentos e um artigo enviado à Royal Society sobre seus feitos, Humphry Davy foi nomeado para entrar na Sociedade. O ex-aprendiz de cirurgião ganhou um laboratório na Royal Institution e com ele a maior pilha voltaica feita até o momento. Seus anos na Royal Society foram muito importantes do ponto de vista científico. Davy conseguiu separar diversos metais como potássio, sódio, cálcio, bário e magnésio, sendo o primeiro químico a isolar esses metais de forma pura. O cientista britânico também ganhou fama por rejeitar a teoria de Lavoisier, a respeito de que todos os ácidos tinham oxigênio em sua estrutura. A partir de experimentos com o “oxymuriatic acid”, não encontrou nenhum vestígio de oxigênio em sua composição, refutando assim a teoria de Lavoisier e sendo creditado pela descoberta do gás cloro. (PIZZI, 2004)

3-Michael Faraday

Nascido em 22 de setembro de 1791 na cidade de Newington Butts na Inglaterra, o terceiro filho de um ferreiro, Michael Faraday (Figura.4) teve uma infância complicada. Seu pai era o único que trabalhava para o sustento da família, enquanto sua mãe cuidava da casa e da família. Após alguns anos em Newington Butts, a família Faraday se mudou para Londres para uma melhor perspectiva de vida. Faraday começou a trabalhar cedo, com 13 anos já era assistente de um imigrante francês que encadernava livros. Essa oportunidade de emprego deu a Faraday a chance de ler vários livros que passavam pela loja, um dos livros foi o *Conversation on Chemistry* de Janet Marcet. Esse livro trazia várias ideias de química e de ciências naturais que em sua época eram mais simplificados para o entendimento de um público mais abrangente (BALDINATO, 2009).

Após ler o livro de Marcet, Faraday começou a se interessar mais por ciência e leu todos os livros que estavam a seu alcance. Realizando até algumas experiências simples de química e fazendo anotações em seu diário. No ano de 1812 o jovem teve a oportunidade de assistir algumas palestras do famoso cientista da época, Humphry Davy. Nessas palestras, Davy divulgava a sua teoria de que o Ácido Muriático não tinha oxigênio em sua fórmula estrutural. Motivado pelo seu interesse por ciência e por sua frustrante jornada de trabalho como encadernador, Faraday enviou uma carta a

Humphry Davy com suas anotações a respeito da palestra ministrada pelo famoso cientista e com um pedido de emprego que estivesse relacionado com ciência.

Somente em fevereiro de 1813 foi concedido a Faraday um cargo de assistente de laboratório na *Royal Institution*. A partir disso Michael Faraday se tornou um dos cientistas mais bem-sucedidos do mundo, obtendo trabalhos relacionados com eletroquímica, eletrólise, eletricidade, magnetismo, obtenção de novas substâncias e estrutura da matéria. Talvez o seu trabalho mais famoso seja o *Experimental Research in Electricity*, publicado em uma série de vários volumes ao longo dos anos. Esse trabalho mostrava suas pesquisas inéditas referentes a eletricidade e suas implicações (BALDINATO, 2009).

Figura 4 – Retrato de Faraday disponível no acervo do Museu Galileo.



Naquela época existia um embate muito forte sobre a existência de vários tipos de eletricidade, tais como, eletricidade animal, comum, voltaica, magnética e térmica. Essa implicação foi o ponto crucial para Faraday dar início às suas pesquisas mais densas sobre a eletricidade e seus efeitos (DRENNAN, 1965). Assim, no ano de 1833 Michael Faraday publicou a sua quinta série de pesquisa sobre eletricidade, intitulada de “*Experimental Research in Electricity Fifth Series*” nessa época de sua vida Faraday já era um cientista mundialmente conhecido por seus trabalhos como o isolamento do

benzeno, isobuteno, liquefação de gases e estudos sobre a pilha de volta, portanto, seu trabalho teve bastante alcance na Europa.

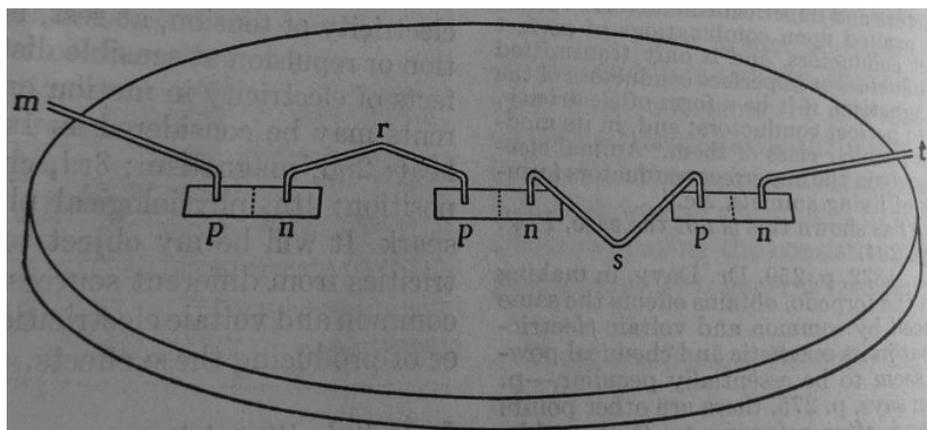
Dentre diversos experimentos, alguns chamam a atenção pela aproximação dos estudos de eletricidade com a estrutura da matéria, o primeiro deles é um experimento que deu origem a primeira Lei da Eletrólise. Como já dito no parágrafo anterior, os cientistas da época admitiam a existência de diversas eletricidades, porém, Michael Faraday acreditava que os diversos tipos de eletricidades eram provenientes de uma mesma origem, e que se diferenciavam na sua forma de propagação. Para provar tal teoria, o cientista inglês fez uma série de experimentos que foram publicados no seu livro “*Experimental Research in Electricity Third Series*”. Além de Faraday chegar à conclusão de que todas as formas de eletricidade eram na verdade a mesma coisa, ele ainda estabeleceu a primeira Lei da eletrólise.

Os experimentos que Faraday realizou e deduziu a primeira lei da eletrólise teve como ponto de partida a tentativa de provar que eletricidade comum (máquinas a fricção) e eletricidade voltaica (pilha de volta) era na verdade a mesma coisa. O primeiro experimento teve como objetivo investigar se a eletricidade dita “comum” realizava a eletro-decomposição, formando ácidos e bases. Para isso, Faraday posicionou três pedaços de papel de litmus, identificados na Figura.5 como “ppp” (indicador ácido/base) e três pedaços de papel turmeric (indicador de base), identificados na Figura.4 como “nnn”, misturados com uma solução de sulfato de sódio, ver figura 4.

Os indicadores marcavam que a reação produzia ácido e base que podiam ser visualizados pelos respectivos papéis identificadores, provando assim satisfatoriamente para Faraday que a eletricidade “comum” realizava a eletro-decomposição, e esta ocorria após o tempo de 28 batidas (11,2 segundos) do seu relógio.

Para efeito de comparação com a eletricidade voltaica, Faraday realizou outro experimento similar (STOCK, 1991).

Figura 5 – Ilustração do experimento de Faraday.



O químico britânico posicionou quatro tiras de papel em uma espátula de platina misturado com uma solução padrão de Iodeto de Potássio, ligados a uma pilha feita com eletrodos de Pt/Zn em uma solução de ácido nítrico. O resultado foi que com o tempo de oito batidas (3,2 segundos) do seu relógio ele obteve o mesmo efeito do experimento anterior. Faraday concluiu que a eletricidade comum e voltaica eram na verdade a mesma coisa, pois realizavam o mesmo efeito de eletro-decomposição.

(...) segue também que para esse caso da eletro-decomposição, e provavelmente para todos os casos, a força química assim como a força magnética é diretamente proporcional a absoluta quantidade de eletricidade que passa (FARADAY, 1832, p. 183, tradução nossa).

Em outras palavras, a primeira lei da eletrólise diz que a massa da substância liberada para um eletrodo, durante o processo de eletrólise, é diretamente proporcional a quantidade de eletricidade que passa na célula eletrolítica (STOCK, 1991). Por exemplo, na eletrólise do cloreto de sódio, se uma corrente elétrica passa durante uma hora, a quantidade de sódio depositada no catodo será de 30 gramas. Se a mesma corrente elétrica passar durante duas horas, a quantidade de sódio depositada será de 60 gramas (TOSCANO, 2011).

A partir desse ponto, Faraday começou a criar hipóteses sobre a estrutura da matéria, ele achava que a eletricidade estava diretamente ligada à sua composição estrutural. Presumindo que poderia obter mais informações se conseguisse decompor um material sólido utilizando a corrente elétrica. Faraday começou a congelar soluções para tentar decompô-las. Logo de início ele se deparou com um impasse, o gelo não conduzia eletricidade, apesar de a água líquida conduzir (mesmo sendo um condutor muito fraco).

Isso criava uma visão totalmente diferente para toda a ciência da época. Por diversos fatores os cientistas europeus pensavam que a força elétrica era mais forte do que a força de coesão, mas pelo primeiro experimento de Faraday a força de coesão da matéria era mais forte do que a força elétrica. Então se a água perdia a sua força de condução quando congelada, outros sólidos “ganham” condutibilidade quando derretidos? Após diversos experimentos para diversos sólidos como cloretos, iodetos, óxidos e sulfatos a resposta que Faraday encontrou era que “sim”, já para substâncias orgânicas a resposta era “não”. Nas palavras de Faraday (1833), “Quando há condução elétrica, a decomposição ocorre; Quando a decomposição cessa a condução elétrica também cessa”

Essa declaração era de fato importante, pois Faraday tinha conseguido atribuir significância a dissociação de eletrólitos para ocorrer a condução elétrica, como de fato um composto que se dissocia em água conduz eletricidade (compostos iônicos) e um composto que não se dissocia não conduz (compostos orgânicos). Faraday concluiu que a força que causava a decomposição era exercida na solução e não nos polos como se pensava. Uma conclusão um tanto quanto audaciosa por parte do cientista inglês, devemos lembrar que em meados do século XIX a teoria atômica não era bem consolidada e as ideias de John Dalton ainda estavam em processo de aceitação pela maioria da comunidade científica (STOCK, 1991).

(...) não sabemos nada sobre o que o Átomo realmente é, entretanto não podemos resistir em formar ideias sobre partículas pequenas(...) existe uma imensidão de fatos que nos justificam acreditar que átomos de matérias estão dotados ou associados de alguma forma a força elétrica. (FARADAY, 1833, p. 201, tradução nossa)

Joseph John Thomson realizou o experimento dos raios catódicos somente em 1897, enquanto Faraday 64 anos antes já havia declarado que o átomo estava intrinsecamente relacionado com a eletricidade. Obviamente o cientista inglês não descobriu o elétron, mas seus experimentos e suas ideias estão intimamente relacionados com as futuras descobertas. Em outra página Faraday continua:

(...) se nós adotarmos a teoria atômica (...) os átomos dos corpos que são equivalentes entre si em seu produto químico comum, contem quantidades iguais de eletricidade naturalmente associados. Mas devo confessar que tenho ciúmes do termo átomo; (...) é muito fácil falar de átomos, mas é muito difícil formar uma ideia clara da natureza deles. (FARADAY, 1833, p. 212, tradução nossa)

CONCLUSÃO

Somente com o estudo da História da Ciência é possível humanizar as descobertas e os cientistas envolvidos, aproximando os fatos do caráter social, econômico e culturais que levaram àquelas descobertas. Como Matthews(1995) afirma, é necessário introduzir a História da Ciência/Química nos conteúdos escolares, trazendo mais significado para os conteúdos abordados. Assim, o estudo histórico de eletroquímica e eletrólise são essenciais para a compreensão.

Poderíamos ter iniciado o estudo desse trabalho muito antes de Alessandro Volta, no sentido de reconhecer quais pesquisas e experimentos anteriores deram subsídio para que o italiano fizesse suas descobertas, assim poderíamos voltar 300 anos antes, porém para o estudo de eletrólise e eletroquímica no Ensino Médio entendemos que esses três cientistas são de fato importante e primordiais para a compreensão de conteúdos escolares, Alessandro volta com sua pilha de Zinco e Platina dando início a novas possibilidades de fontes elétricas, Humphry Davy utilizando a pilha de volta para decompor diversos metais, muitos deles nunca antes isolados e Michael Faraday discípulo de Davy que utilizou de suas ideias e experimentos posteriores para teorizar a primeira evidencia que o átomo possuía algum caráter elétrico.

REFERÊNCIAS

- BALDINATO, J. O. **A química segundo Michael Faraday**: um caso de divulgação científica no século XIX. p. 139. f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- BELTRAN, M. H. R. História da química e ensino: estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares. **Abakós**, v. 1, n. 2, p. 67–77, 2013.
- BELTRAN, M. H. R; BELLETTATO, R. D.; O Histórico das Análises de Água minerais em aulas de Química para o Ensino Médio: uma proposta de abordagem. In: FREITAS- REIS, I. (Org.) **Estratégias para a inserção da história da ciência no ensino**: um compromisso com os conhecimentos básicos de química. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.
- CAMEL, N. J. C.; PACCA, J. L. A. P. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 7–26, 2011.
- HELENA, H.; MARTINS, T. D. S. Metodologia qualitativa de pesquisa Qualitative research methodology. **Educação & Pesquisa**, v. 30, n. 2, p. 289–300, 2004.
- J.DRENNAN, O. Faraday contribution to electrolisis law. **Journal of Chemical Education**, v. 42, n. 12, p. 679–681, 1965.
- LÚCIA, A.; SOUZA, S.; CHAPANI, D. T. Necessidades formativas dos professores que ensinam ciências nos anos iniciais Necessary science teaching skills in the elementary school Necesidades formativas de los profesores que enseñan ciencias en los años iníciales. p. 119–136, [s.d.].

- MARTINS, L. A. C. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1989, p. 305–317, 2005.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164–214, 1995.
- MATTHEWS, M. R. The Nature of Science and Science Teaching. **International Handbook of Science Education**, 1998. Disponível em: <http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/recordDetail?accno=ED031395> >. Cesso em: 10 dez. 2018.
- NEVES, J. Pesquisa qualitativa: características, usos e possibilidades. **Caderno de pesquisas em administração São Paulo**, v. 1, n. 3, p. 1–5, 1996.
- NICHOLSON, W. Account of the new electrical or galvanic apparatus of sig.alex.volta, and experiments perfomed with the fame. **Journal of Natural Philosophy, Chemistry, and the Arts**, v. IV, p. 179–187, 1800.
- OKI, M. C. MARINHO. O ensino de história da química: contrubundo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência e Educação**, v. 14, n. 1, p. 67–88, 2008.
- PIZZI, R. A. Today's chemist at work. **Chemistru Chronicles**, p. 49–51, 2004.
- SANTOS, M. C.; SANTOS, M. M. H.; SANTOS, M. D. L. **História da ciência para ensinar ciência: possíveis contribuições dos estudos de Michael Faraday**, Maceió: 2017.
- SOUZA, R. S.; Princípio da conservação da energia: Joule e o Equivalente Mecânico do calor. In: SILVA, Ana Paula; Guerra, Andreia (Org.). **História da ciência e ensino: fontes primárias e propostas para a sala de aula**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.
- STOCK, J. T. The pathway to the laws of electrolysis. **Bulletin History of Chemistry**, v. 11, p. 86–92, 1991.
- TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. O bicentenário da invenção da pilha elétrica. **Química Nova na Escola**, v. 11, p. 35–39, 2000.
- VOLTA, A. On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 90, n. 1, p. 403-431, 1800.