

Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Biociências

Faculdade de Educação

Mayra Cristina da Silva Costa

**Uma convergência entre história da ciência e ensino de química:  
o caso da pilha de Daniell**

São Paulo/SP

2021

Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Instituto de Química

Instituto de Biociências

Faculdade de Educação

VERSÃO CORRIGIDA

**Uma convergência entre história da ciência e ensino de química:  
o caso da pilha de Daniell**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências, área de concentração Ensino de Química.

**Aluna:** Mayra Cristina da Silva Costa

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Alves Porto

São Paulo/SP

2021

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação**  
**do Instituto de Física da Universidade de São Paulo**

Costa, Mayra Cristina da Silva

Uma convergência entre história da ciência e ensino de química: o caso da pilha de Daniell. São Paulo, 2021.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Paulo Alves Porto

Área de Concentração: Ensino de Química.

Unitermos: 1. Química – Estudo e ensino; 2. Química – Pesquisa histórica; 3. Eletroquímica.

USP/IF/SBI-008/2021

## AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Geraldo, e minha mãe, Maria, pelo apoio incondicional e por tamanho amor.

Às minhas tias, Cida e Wandinha, por tudo, desde sempre.

À Monalisa, pela paciência, companheirismo e amor.

Ao pessoal do Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química e do Mestrado em Ensino de Física, por todas as risadas, aprendizado e amizade.

Ao Paulo, pela sua orientação e aceitação.

Ao Ivã, pelos livros emprestados e pelo acolhimento.

À UNIVESP, pela oportunidade de trabalho e todas as valiosas lições e formação que adquiri ao longo dos últimos dois anos sobre Educação à Distância.

À Keila, por todo incentivo desde que ingressei na licenciatura em química.

A Carol, Lara e Naãma que migraram de Alfenas para São Paulo antes de mim e levaram junto consigo o aconchego.

À Fernanda, a melhor *roomie*, pela amizade.

Ao Mateus (Ribeiro) e ao Mateus (Carneiro), a velha e a nova amizade.

Ao meu querido amigo Gustavo Sérgio, pelo ombro amigo nas horas mais difíceis e pelas imagens produzidas que fazem parte dessa dissertação.

Ao meu tio Antônio, à minha tia Luciana e minha prima Patrícia que generosamente abriram as portas de sua casa pra mim, até eu poder me instalar em São Paulo.

A todos e todas que se empenham diariamente com seu trabalho para que a Universidade possa abrir suas portas pra receber pessoas do Brasil todo e do mundo. Nas portarias, secretarias, bibliotecas, limpeza, vigilância, nos cafés, restaurantes, trailers, restaurantes universitários, pró-reitorias. Que possamos cada vez mais trabalhar pela manutenção da universidade pública.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*Dedico este trabalho a todos e todas que saíram do aconchego de sua terra natal e de suas famílias para encarar e concretizar o sonho de formação na universidade pública de excelência. Sim, nosso lugar também é aqui.*

## RESUMO

COSTA, Mayra Cristina da Silva. Uma convergência entre história da ciência e ensino de química: o caso da pilha de Daniell. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Instituto de Biociências, Instituto de Física, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

O presente trabalho consiste em um estudo de caso histórico sobre a pilha criada por John Frederic Daniell (1790-1845), com os objetivos de compreender o dispositivo desenvolvido originalmente e realizar uma análise de sua apropriação por livros didáticos. Há importantes disparidades entre modelos didáticos da pilha de Daniell elaborados ao longo do século XX e o dispositivo original, refletindo objetivos educacionais e didáticos nem sempre explícitos. A pesquisa teve como alicerce teórico-metodológico a contemporânea historiografia da ciência. O estudo de caso foi desenvolvido essencialmente a partir de fontes primárias: duas edições de um livro escrito por Daniell, além de comunicações feitas pelo autor para a *Royal Society* entre 1836 e 1839. Para análise dos livros didáticos, foi considerada uma amostra de livros de química geral para o ensino superior publicados nos EUA, pertencentes ao acervo do Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ) do IQ-USP. Foram identificados os capítulos sobre os conteúdos de eletroquímica e, em seguida, as referências à pilha de Daniell. Essas ocorrências foram registradas em diário de pesquisa. O estudo de caso revela que Daniell buscava um dispositivo capaz de produzir corrente elétrica estável por um tempo superior ao de outras pilhas desenvolvidas até então. As pilhas anteriores apresentavam inconvenientes principalmente em relação à deterioração dos eletrodos pela ação dos eletrólitos, que eram misturas de ácidos fortes. Daniell trabalhou por melhorias em sua pilha, à qual ele se referia como *bateria constante*. Seu arranjo permitia manter a concentração dos eletrólitos por mais tempo e, fazendo associações de até 70 células, foi possível obter correntes elétricas que eram mantidas por horas. Além do interesse científico, existiam motivações extrínsecas para seu trabalho de investigação. A produção da bateria constante, naquele momento, se relacionava à busca de fontes de alimentação para telégrafos elétricos. A partir da compreensão da elaboração original da pilha de Daniell, foi feita uma análise da apropriação desse dispositivo como modelo didático em livros de química. De forma geral, chama a atenção que, desde as primeiras décadas do século XX, a pilha de Daniell aparece nos livros didáticos com muitas diferenças em relação ao dispositivo original. Nas décadas de 1930 a 1950, a pilha de gravidade era apresentada como sendo a pilha de Daniell. Em livros do século XXI, o modelo didático tornou-se a célula voltaica com ponte salina. Os modelos didáticos para a pilha de Daniell estiveram associados a diferentes conteúdos, com papéis diversos no ensino de eletroquímica. Foi possível observar o distanciamento entre o contexto científico e os contextos de ensino: nestes últimos, praticamente não há justificativa para a atribuição do nome de Daniell a diferentes modelos de pilha.

**Palavras-chave:** Pilha de Daniell. História da ciência. Ensino de química.

## ABSTRACT

COSTA, Mayra Cristina da Silva. A convergence of history of science and chemistry teaching: the case of the Daniell cell. 2021. Dissertation (Master in Science Education) – Faculdade de Educação, Instituto de Biociências, Instituto de Física, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

The present work consists in a historical case study about the battery created by John Frederic Daniell (1790-1845), aiming at understanding the device originally developed and at analyzing its appropriation by textbooks. There are important disparities between didactic models of the Daniell cell developed over the 20th century and the original device, reflecting educational and didactic objectives that are not always explicit. The research had as its theoretical-methodological foundation the contemporary historiography of science. The historical case study was developed essentially from primary sources: two editions of a book written by Daniell, in addition to communications made by the author to the Royal Society between 1836 and 1839. Further, a sample of university level, general chemistry textbooks published in the USA, belonging to the collection of the Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ) from IQ-USP was surveyed. Chapters on electrochemistry contents and references to the Daniell battery were identified and recorded in a research diary. The historical case study reveals that Daniell was looking for a device capable of producing stable electric current for longer than other batteries developed so far. Previous batteries presented drawbacks mainly related to deterioration of the electrodes due the action of the electrolytes, which were mixtures of strong acids. Daniell worked for almost a decade on improvements to his device which he styled *constant battery*. Its arrangement allowed to maintain the concentration of electrolytes for longer and by making associations of up to seventy cells it was possible to maintain electric currents for hours. In addition to scientific interest, there were extrinsic motivations for Daniell's research work since the constant battery was related to the search for power sources for electric telegraphs. From the understanding of the original elaboration of the Daniell cell, an analysis of the appropriation of this device as a didactic model in chemistry textbooks was made. In general, it is noteworthy that since the first decades of the 20th century the Daniell cell is presented in textbooks with many differences in relation to the original device. In the 1930s to 1950s, the gravity cell was presented as the Daniell cell. In 21st century textbooks, the didactic model becomes the voltaic cell with a salt bridge. Didactic models for the Daniell cell were associated with different contents, with different roles in the teaching of electrochemistry. It was possible to observe the distance between the scientific and the teaching contexts: in the latter, there is practically no justification for associating the name of Daniell to different battery models.

**Keywords:** Daniell cell. History of Science. Chemistry teaching.

## LISTA DE FIGURAS

- 01:** Montagem com algumas imagens da pilha de Daniell, 15
- 02:** Representação esquemática de autoria própria da pilha de Daniell, 16
- 03:** Representação esquemática de uma pilha de grafite/zinco, 18
- 04:** Representação esquemática de uma pilha alcalina, 18
- 05:** Relação entre os objetos da ciência e da historiografia da ciência, 28
- 06:** Retrato de John Frederic Daniell, 36
- 07:** Folhas de rosto das duas edições de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, 38
- 08:** Michael Faraday e Daniell, 40
- 09:** Primeira página do sumário da segunda edição de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, 42
- 10:** Segunda página do sumário da segunda edição de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, 43
- 11:** Atração e repulsão de corpos em diferentes estados (vítreo e resinoso), 45
- 12:** Dados experimentais de Snow Harris sobre o comportamento de diferentes materiais metálicos, 47
- 13:** Circuito simples, 48
- 14:** Circuito simples com fio condutor, 49
- 15:** Circuito no qual as placas metálicas se encontram em dois recipientes e se conectam por fios, 50
- 16:** Galvanômetro, 51
- 17:** Voltâmetros utilizados para mensurar corrente elétrica, 52
- 18:** Pilha de Volta, 53
- 19:** Bateria constante de Daniell, 54
- 20:** Bateria constante de Daniell. Representação em cores elaborada a partir da gravura da construção original da pilha, 54
- 21:** Associação de dez pilhas (extraída do livro de Daniell), 55

- 22:** Associação de dez pilhas (representação de autoria própria), 56
- 23:** Esquema da bateria constante descrita em *On voltaic combinations*, 58
- 24:** Associação de dez pilhas (extraída da primeira comunicação feita em 1836), 59
- 25:** Ilustração colorida mostrando os detalhes da associação de dez pilhas descrita em Daniell (1836a) (representação de autoria própria), 60
- 26:** Dados experimentais obtidos por Daniell em estudos sobre temperatura e ação voltaica, 63
- 27:** Telégrafo de Morse, pertencente ao acervo do Museu de Ciência da Universidade de Coimbra, 69
- 28:** O código Morse, 70
- 29:** Associação de pilhas de Daniell para redes telegráficas, 70
- 30:** Associação de pilhas de Daniell para redes telegráficas, 71
- 31:** O telégrafo de Morse acoplado à pilha de gravidade, 72
- 32:** Estante de baterias na estação telegráfica da *Western Union Telegraph Company*, Nova York, EUA, 73
- 33:** Um escritório telegráfico da virada do século XIX para o XX, 74
- 34:** Pilha de Daniell (McPherson & Henderson, 1913 e 1917), 76
- 35:** Célula de gravidade de Daniell (Smith, 1916), 77
- 36:** A pilha de gravidade identificada como sendo a pilha de Daniell (Schlesinger, 1950), 78
- 37:** A pilha de gravidade identificada como pilha de Daniell (Luder *et al.*, 1953), 79
- 38:** A célula de Daniell (Mack Jr. *et al.*, 1956), 80
- 39:** A célula de gravidade, ou célula de Daniell (Nebergall & Schmidt, 1957), 80
- 40:** Célula de gravidade, frequentemente chamada de célula de Daniell (Holmes, 1922), 82
- 41:** A versão da pilha de gravidade (ou de “pata de corvo”) da pilha de Daniell (Frey, 1952), 83
- 42:** Célula de Daniell e célula de gravidade (Timm, 1932), 84
- 43:** A pilha de gravidade (Markham & Smith, 1954), 85
- 44:** Célula voltaica (Newell, 1912), 86
- 45:** Distribuição de cargas em um metal e em uma solução contendo íons do mesmo metal (Brinkley, 1941), 87

- 46:** Célula de gravidade (Pauling, 1947), 87
- 47:** A célula de zinco e cobre (Quagliano, 1958), 88
- 48:** A célula de zinco e cobre com ponte salina (Quagliano, 1958), 88
- 49:** Célula de gravidade (Pauling, 1970), 89
- 50:** Representação da célula de Daniell (Molinari, 1912), 90
- 51:** Uma célula úmida (Young & Porter, 1940), 91
- 52:** Migração de elétrons do zinco para o cobre, como ocorre nos eletrodos da pilha de Daniell (Young & Porter, 1940), 92
- 53:** A célula de Daniell (Partington, 1966), 92
- 54:** A pilha de Daniell (Whitten *et al.*, 2000), 94
- 55:** Célula voltaica com ponte salina (Brown *et al.*, 2002), 95
- 56:** Pilha de concentração (Brown *et al.*, 2002), 95
- 57:** Visão “atômica” de uma célula voltaica (Ebbing & Gammon, 2007), 96
- 58:** Uma célula voltaica de zinco e cobre (Ebbing & Gammon, 2007), 97
- 59:** Célula galvânica (Chang, 2010), 98

## SUMÁRIO

### 1.0 INTRODUÇÃO, 12

- 1.1 As inquietações e o caminho percorrido até aqui, 12
- 1.2 O modelo didático da pilha de Daniell, 14
- 1.3 Objetivos da pesquisa, 19
- 1.4 Justificativa, 20

### 2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA, 23

- 2.1 A contemporânea historiografia da ciência, 23
  - 2.1.1 Anacronismo *versus* diacronismo, 23
  - 2.1.2 Internalismo e externalismo, 24
  - 2.1.3 O trabalho do historiador e da historiadora da ciência e o objeto da história da ciência, 27
- 2.2 Metodologia, 30
  - 2.2.1 Estudo de caso histórico, 30
  - 2.2.2 Análise de livros didáticos de química geral, 32

### 3.0 ESTUDO DE CASO HISTÓRICO, 35

- 3.1 John Frederic Daniell – esboço biográfico, 35
- 3.2 As publicações de Daniell sobre a pilha, 40
  - 3.2.1 *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy: being a preparatory view which concur to the production of chemical phenomena*, 40
  - 3.2.2 *On voltaic combinations*: correspondências a Michael Faraday, 56
    - 3.2.2.1 *On voltaic combinations (1836a)*, 56
    - 3.2.2.2 *Additional observations on voltaic combinations (1836b)*, 61
    - 3.2.2.3 *Further observations on voltaic combinations (1837)*, 63
    - 3.2.2.4 *Fifth letter on voltaic combinations (1839b)*, 65
- 3.3 Contribuição da bateria constante de Daniell para o telégrafo elétrico, 67

### 4.0 ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA GERAL, 75

- 4.1 A pilha de Daniell e a pilha de gravidade, 75

- 4.1.1** Pilha de Daniell como sinônimo de pilha de gravidade, 76
- 4.1.2** Pilha de gravidade como caso particular da pilha de Daniell, 81
- 4.1.3** Pilha de Daniell e pilha de gravidade como dispositivos diferentes com características comuns, 83
- 4.2** Pilhas de zinco e cobre sem menção a Daniell, 85
- 4.3** Pilha de Daniell construída com recipientes concêntricos e parede interna porosa, 90
- 4.4** Século XXI: o dispositivo de eletrodos independentes com ponte salina, 93

## **5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS, 99**

## **6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, 102**

## **7.0 ANEXO: Livros didáticos analisados, 110**

## 1.0 INTRODUÇÃO

Na seção a seguir serão apresentados aspectos pessoais da autora relacionados às motivações para a construção da pesquisa, desenvolvimento e escrita desta dissertação.

### 1.1 *As inquietações e o caminho percorrido até aqui*

As primeiras e mais claras (e coincidentemente as mais felizes) memórias que tenho de minha infância estão relacionadas à vida escolar. Aos 6 anos de idade, ingressei na Escola Estadual Prefeito Ismael Brasil Corrêa, no bairro Santa Maria em Alfenas, sul do estado de Minas Gerais. Após arrumar o material escolar dois meses antes do ano letivo começar, o medo dos primeiros dias de aula foi superado pela alegria e as possibilidades que estavam naquele lugar. Tudo isso me encantava, e assim foi. Adorava conversar com as merendeiras para aprender as receitas, com os funcionários da secretaria para entender a burocracia – enfim, tudo relacionado às aulas, ao recreio, às festas escolares, à merenda, aos funcionários e à escola de forma geral me interessava.

Lembranças anteriores são no interior da Escola Estadual Judith Vianna, acompanhando minha mãe no trabalho quando não havia ninguém para cuidar de mim. Eu ficava lá no fundo, observando-a escrever no quadro, colorindo qualquer coisa e desejando profundamente ter uma letra igual à dela. Outras lembranças fortes são de momentos em que minha mãe ficava rodeada de provas e diários de classe quando estava em casa, além da estima de meu pai pelo conhecimento, apesar de ser pouco letrado. A vontade de aprender sempre me guiou, assim como a curiosidade por entender as coisas em seu cerne.

Apesar da curiosidade e das perguntas incessantes em cada aula, que até chegavam a aborrecer meus e minhas ex-professores e professoras, eu ficava sem entender muita coisa. Já adolescente, as indagações eram muito presentes nas aulas de química. Átomo? Ligação química? Orbital? Como assim? De que jeito? Procurando aprofundar o meu entendimento e sanar tantas curiosidades, busquei o ensino superior em química. Mal sabia eu que as perguntas apenas se multiplicariam cada vez mais. Sentimento que também é muito presente na pesquisa historiográfica: quanto mais eu tento compreender, mais caminhos se abrem. Hoje eu posso dizer que isso não me desespera mais, apesar de causar certo cansaço. O caminho que tomei foi em direção a essa curiosidade, a essas interrogações.

Eram questões que me ocorriam, por exemplo, ao olhar para o livro de ciências, e depois para o livro de química. Questões do tipo: qual é a relação entre a pilha do controle remoto e essa pilha com dois “copinhos” (béqueres) que está ilustrada no livro? Eu olhei para essas figuras em momentos diferentes: nas aulas de ciências, depois nas aulas de química no ensino médio, nas aulas de química geral e de química analítica na faculdade, assim como em livros de físico-química.

Na licenciatura, o estudo dos modelos didáticos no ensino, a implementação de atividades em escolas como estagiária e o estudo intenso de muitas coisas também nunca me responderam o que a “pilha de copinhos” tinha a ver com a pilha do controle remoto. Uma dúvida que deixei de lado: afinal, essa diferença entre uma coisa e outra nem deveria ter tanta coisa por trás, pensava eu. Um dia, o professor Paulo Porto me apresentou, como uma proposta de pesquisa, algumas imagens em PDF de páginas livros didáticos de química geral do século XX que mostravam a pilha de Daniell, e um livro datado de 1843 de autoria desse químico inglês. Eu me lembro que, em todos aqueles livros, nenhuma imagem era da “pilha de copinhos” já vista tantas vezes. Aquela dúvida que estava esquecida se tornou a presente dissertação.

A partir da chamada pilha de Daniell encontrada em livros didáticos foram investigadas as diferenças entre o dispositivo original e as representações didáticas. Por que essas modificações foram necessárias? Se o que temos em livros didáticos hoje como sendo a pilha de Daniell se assemelha muito pouco àquela criada no século XIX, como era então o dispositivo original? Esses foram alguns dos questionamentos que guiaram o desenvolvimento desta pesquisa. Diante do desconhecimento sobre o dispositivo original, foi feito um estudo de caso histórico com fontes primárias – livros e comunicações endereçadas à *Royal Society*<sup>1</sup>. Após o estudo de caso, fizemos uma análise da inserção do modelo didático da pilha em livros de química geral voltados ao ensino superior.

Nós químicos, químicas, professores e professoras de química utilizamos modelos e muitos outros artifícios para ensinar os conteúdos e conceitos, e também para compreendê-los. Um dos apontamentos que esta pesquisa traz para docentes e profissionais da área é que

---

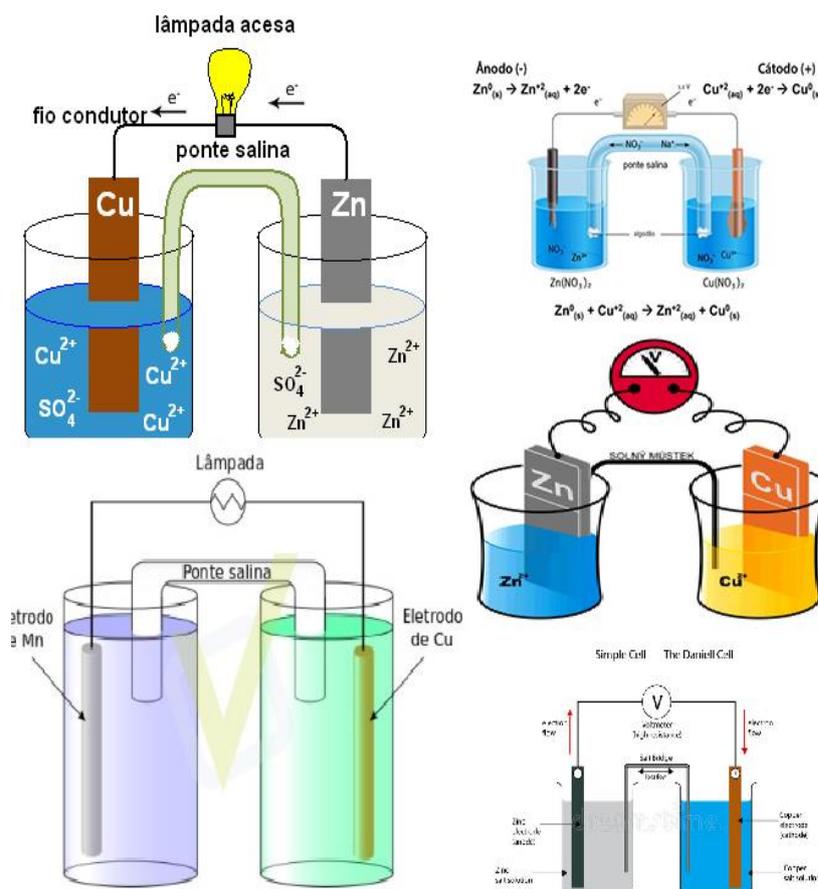
<sup>1</sup> Fundada em 1660, a *Royal Society* é a academia de ciências do Reino Unido, e hoje a instituição científica mais antiga do mundo. No ano de 1663 recebeu o reconhecimento oficial da monarquia britânica passando a ser denominada “*The Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*”. Atualmente, além de sua frente principal de atuação, que é integrar cientistas de diferentes partes do mundo, a *Royal Society* desenvolve ações e projetos de divulgação científica, e tem parcerias com o setor industrial e empresarial (<https://royalsociety.org/>. Acesso em 8 maio 2021).

muitas vezes corremos o risco de utilizar modelos didáticos que são completamente diferentes daquilo que os inspirou, sem consciência das diferenças ou de eventuais implicações para o ensino.

É preciso ter clareza que a “pilha de Daniell” que aparece nos livros é um modelo didático, ou seja, um modelo elaborado com finalidades específicas de ensino e fora do contexto científico (SJÖSTRÖM *et al.*, 2020). Os modelos são utilizados não apenas por pesquisadores e outros profissionais de química: o ensino de química também explora os modelos científicos, bem como modelos didáticos e modelos representacionais. A pilha de Daniell se constitui em um ótimo exemplo do uso de modelos didáticos no ensino de química.

### ***1.2 O modelo didático da pilha de Daniell***

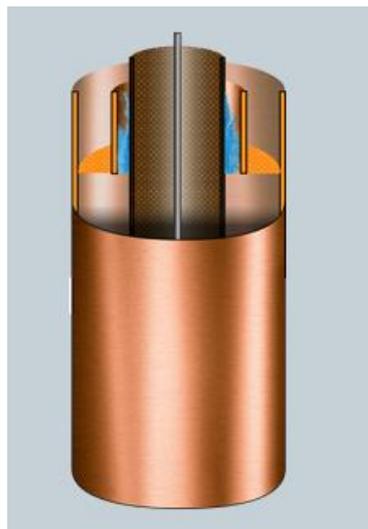
A representação da pilha de Daniell comumente aparece em livros didáticos inserida no conteúdo de eletroquímica, em geral apresentado no segundo ano do ensino médio. No ensino superior, esse modelo pode ser abordado em uma disciplina de química geral, ou raramente em alguma disciplina de físico-química. Independente do nível de ensino, o modelo didático em questão é o mesmo. Quando se faz uma busca rápida na internet, com as palavras-chave “pilha de Daniell”, as imagens que aparecem como resultado são praticamente as mesmas que se pode encontrar em livros didáticos (Figura 01).



**Figura 01:** Montagem com algumas imagens resultantes de busca por “pilha de Daniell” na internet.  
**FONTE:** Google Imagens® (diversos sites; busca realizada em dezembro de 2020).

As diferenças entre as imagens obtidas na busca, acompanhadas ou não por textos explicativos, podem ser em relação às informações escritas e às cores associadas às soluções eletrolíticas. Outra diferença pode ser em relação ao circuito externo, que pode ter uma lâmpada, um amperímetro ou um voltímetro, ou seja, algo que evidencie a passagem de corrente elétrica pelo circuito.

As diferenças entre o dispositivo criado no século XIX e o modelo didático são notórias. A disposição dos recipientes contendo os eletrólitos era diferente, e não havia a ponte salina. Os metais utilizados no dispositivo original eram o cobre e o zinco, porém essa escolha foi feita depois de anos de testes com outros metais, ou seja, essa escolha não é óbvia como pode parecer (DANIELL, 1836a; DANIELL 1836b; DANIELL, 1839a; DANIELL, 1839b; DANIELL, 1843). O mesmo pode ser dito a respeito da escolha dos eletrólitos, que também não eram os mesmos que aparecem nos modelos didáticos. A construção original de Daniell pode ser observada na Figura 02, e comparada com os modelos ilustrados na Figura 01.



**Figura 02:** Representação esquemática da pilha de Daniell, baseada nos escritos publicados pelo autor.  
**FONTE:** Autora (2019). Crédito da imagem: Gustavo Sérgio dos Santos.

Vale mencionar que nem a lâmpada elétrica, nem o voltímetro ou o amperímetro digitais (ou até mesmo os analógicos) existiam no tempo de Daniell. A mensuração da corrente elétrica se dava por meios qualitativos e quantitativos diferentes daqueles ilustrados na Figura 01, conforme se verá mais adiante.

O modelo didático da pilha de Daniell é utilizado para explicar vários conceitos e subsidiar o ensino de outros, dentre os quais pilhas e reações de oxirredução (redox, também chamadas de reações de transferência de elétrons), ocupando papel de destaque no ensino de eletroquímica. É esperado que a utilização desse modelo contribua para o ensino e para a compreensão acerca do que é uma pilha e seu funcionamento básico (WALANDA *et al.*, 2017).

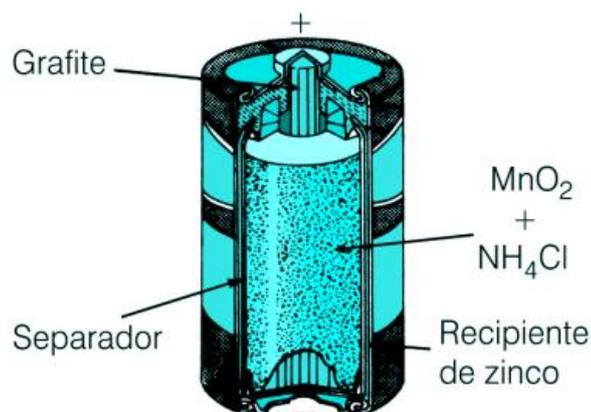
Toda pilha produz um fluxo espontâneo de elétrons por meio da simultânea oxirredução dos componentes dos eletrodos metálicos em contato com os eletrólitos (BROWN *et al.*, 2007). Existe então um conjunto de conceitos que estão relacionados ao ensino e ao uso do modelo da pilha de Daniell: números de oxidação, balanceamento de equações de oxirredução, cátodo, ânodo, célula eletroquímica, semirreações de oxirredução. Em contextos didáticos, é comum representar o eletrodo de cobre e o eletrodo de zinco em recipientes separados, e escrever a semirreação de oxidação e a semirreação de redução embaixo dos respectivos recipientes. É importante atentar para o fato de que não existem “semirreações”: existe a *oxirredução simultânea*, ou seja, as semirreações também são um

modelo para facilitar a compreensão do processo. Os educadores em ciências devem estar atentos para que os estudantes não desenvolvam a concepção de que os processos de oxidação e redução são independentes. Nenhum dispositivo produz fluxo de elétrons se tiver somente a espécie que reduz ou somente a espécie que oxida, isto é, nenhuma pilha funciona só com o polo positivo ou só com o polo negativo.

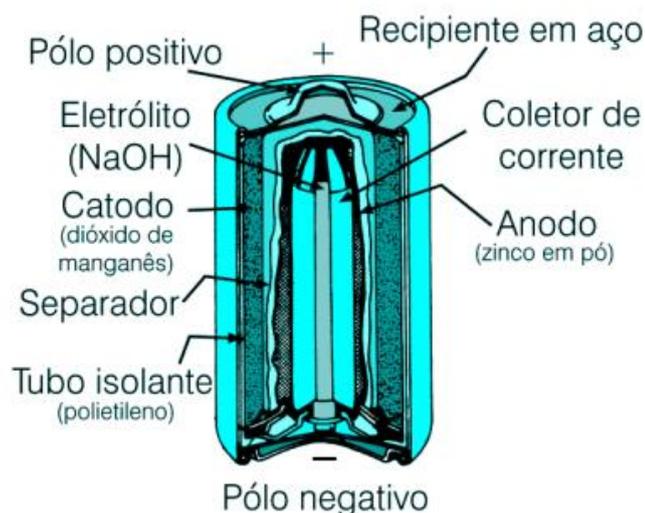
Outro ponto a ser observado é a divergência entre o ensinado e as concepções que os alunos e alunas têm sobre pilhas. As pilhas alcalinas comerciais obviamente são diferentes da pilha de Daniell, embora existam elementos construtivos em comum. A pilha de Daniell representada em livros didáticos é uma célula voltaica simples: os metais utilizados como eletrodos são também participantes diretos da oxirredução e a diferença de potencial (ddp) produzida varia de acordo com a concentração de reagentes e produtos. Essa variação da ddp pode ser entendida como uma queda, uma diminuição progressiva, uma vez que “as concentrações dos reagentes no entorno do ânodo ou do cátodo diminuem mais rápido do que podem ser repostas na solução” (KOTZ *et al.*, 2016, p. 885).

Com isso, para que uma célula voltaica produza corrente por um longo período de tempo é necessário repor as espécies químicas que são consumidas, e os íons que se concentram nos eletrólitos deveriam ser separados novamente, o que não é possível. Assim, uma limitação importante das células eletroquímicas do século XIX era a produção de correntes de baixa intensidade e tensão, diferente dos dispositivos disponíveis hoje.

As pilhas atuais podem ser encontradas comercialmente em diferentes versões e produzindo diversos valores de tensão elétrica. Basicamente, existem dois grandes grupos: baterias primárias (não recarregáveis) e baterias secundárias (recarregáveis). As pilhas do tipo “AA” são chamadas de pilhas secas, porque em seu interior o eletrólito é pastoso, podendo ser constituído por uma mistura de cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), cloreto de zinco ( $\text{ZnCl}_2$ ) e óxido de manganês ( $\text{MnO}_2$ ), sendo que os eletrodos são de grafite e zinco (BOCCHI *et al.*, 2000) (Figura 03). Em outro tipo de pilha, a composição do eletrólito inclui hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ), e por isso são chamadas de “alcalinas” (Figura 04).



**Figura 03:** Representação esquemática de uma pilha de grafite/zinco. **FONTE:** Bocchi *et al.* (2000).



**Figura 04:** Representação esquemática de uma pilha alcalina. **FONTE:** Bocchi *et al.* (2000).

A primeira pilha seca foi criada em 1866 pelo engenheiro francês Georges Leclanché (1839-1882), e com o tempo substituíram as pilhas de Daniell nas redes telegráficas e em outras aplicações, devido ao potencial de célula ser mais constante e por durar mais tempo (KOCHER, 2014b).

As baterias secundárias, recarregáveis, são muito usadas em automóveis e dispositivos eletrônicos. A bateria automotiva de 12V é constituída por 6 células em série de 2V cada. Nessa bateria, tanto o ânodo quanto o cátodo são compostos por chumbo: o ânodo de chumbo metálico e o cátodo de chumbo banhado em óxido de chumbo (IV) insolúvel (KOTZ *et al.*, 2016). Até o início dos anos 2000, a maioria dos dispositivos eletrônicos utilizava baterias de níquel-cádmio, que foram sendo progressivamente substituídas, principalmente, pelas baterias

de íons de lítio, devido à toxicidade e potenciais danos do cádmio ao ambiente (SILVA *et al.*, 2011).

Portanto, pode parecer óbvio, mas não fica totalmente claro que a célula voltaica de Daniell não é a mesma coisa que as pilhas e baterias usadas e conhecidas pelo público discente e por nós, ensinantes químicos. É necessário evidenciar e explicar os princípios de funcionamento em comum entre as células voltaicas do século XIX e as células voltaicas comerciais utilizadas no século XXI. Esse conteúdo tem grande importância e fará muito mais sentido se seu ensino for embasado em uma perspectiva histórica. Além de sua relevância atual, no passado muitas pesquisas e contribuições à ciência e à tecnologia, como as feitas por Humphry Davy (1778-1829), Michael Faraday (1791-1867) e tantos outros, foram possíveis pelo uso de células voltaicas (TOLENTINO, ROCHA-FILHO, 2000). É possível ensinar sobre a importância das pilhas em diferentes épocas sem recair no discurso simplista de que o que temos hoje é melhor e mais avançado.

O que tratamos como modelo didático nesta pesquisa são os modelos do tipo *representacional*, ou seja, aqueles que expressam algo concretamente (JUSTI, 2006). A inserção desses modelos no ensino de química tem finalidade puramente didática, ou seja, para ensinar. Atuam como simplificadores e mediadores das teorias científicas para com a realidade, porém *não são* a realidade (CUPANI, PIETROCOLA, 2002). Entendemos que a abordagem histórica permite promover diálogos frutíferos entre objetos científicos do passado – como a pilha de Daniell – e modelos didáticos úteis na atualidade.

### **1.3 Objetivos da pesquisa**

O desenvolvimento industrial e tecnológico fez com que as pilhas e baterias sejam amplamente utilizadas para os mais diversos fins, o que justifica a inclusão da eletroquímica no currículo da educação básica (BOULABIAR *et al.*, 2004). Nesse contexto, a pilha de Daniell foi inserida e continua a fazer parte do currículo de química para os níveis de ensino médio e superior, e se relaciona ao ensino de vários conceitos. A pilha de Daniell se tornou um modelo didático, como um protótipo do que seria uma pilha. Porém, as características do modelo didático se afastaram daquelas do dispositivo original desenvolvido no século XIX – embora a associação com o nome de Daniell tenha permanecido.

Assim sendo, o objetivo geral desta dissertação é realizar, tendo como referencial a contemporânea historiografia da ciência, um estudo de caso histórico sobre a criação da pilha de Daniell. Além disso, apresentamos uma investigação da inserção dos modelos didáticos da pilha de Daniell em livros didáticos de química geral voltados para o ensino superior, tomando uma amostra de livros publicados nos Estados Unidos entre os anos de 1910 e 1970 do século XX, e no início do século XXI.

Os objetivos específicos do estudo de caso histórico foram:

- ✓ compreender o contexto de criação da pilha de Daniell;
- ✓ compreender por quais motivos essa pilha foi desenvolvida, e sob quais condições;
- ✓ compreender em que a pilha de Daniell diferia das pilhas criadas anteriormente;
- ✓ investigar potenciais contextos e situações em que essa pilha foi utilizada e sua importância para além do contexto científico.

Ao caracterizar o dispositivo original construído por Daniell, o estudo de caso histórico permite tecer comparações com os modelos didáticos contidos em livros. Os objetivos específicos da investigação realizada com os livros didáticos foram os seguintes:

- ✓ caracterizar a apresentação da pilha de Daniell em livros de química geral;
- ✓ caracterizar os diferentes objetivos educacionais para a apresentação da pilha de Daniell em diferentes momentos;
- ✓ compreender a quais conceitos a pilha de Daniell se relaciona em cada livro.

#### **1.4 Justificativa**

Em tempos recentes, temos visto diversos ataques ao pensamento científico. Na administração do presidente Donald Trump dos EUA (2017-2021) houve censura em discursos e comunicados oficiais vetando expressões como *evidence-based* (baseado em evidências) e *science-based* (baseado na ciência) (SUN, EILPERIN, 2017). Em outros países, incluindo o Brasil, houve ataques institucionais à ciência por meio de cortes no financiamento público, bem como discursos e manifestações promovidas e incentivadas por líderes de governo. A força que o negacionismo científico vem ganhando nos últimos anos obviamente não é um fenômeno isolado e ingênuo, mas uma estratégia encampada pelo capital neoliberal com intenções muito claras (PIVARO, GIROTTO JÚNIOR, 2020; GASTALDI, 2018).

Nesse cenário, a educação em ciências assume um papel importante pelo seu potencial de impulsionar uma discussão honesta e clara, sem a intenção de impor o discurso científico como uma autoridade distante das pessoas (SILVA, VIDEIRA, 2020). Abordagens históricas podem aproximar o ensino de ciências à prática científica, ao promover discussões sobre como o conhecimento científico foi sendo construído. Através das lentes da história da ciência, é possível mostrar que as práticas científicas não são mirabolantes e fantasiosas como se tem presente no imaginário social, e que os cientistas e as cientistas são também atores e atrizes sociais. Cientistas são cidadãos e cidadãs integrantes da sociedade, e não seres que “vivem em torres de marfim, seres etéreos ou angelicais” (SILVA, VIDEIRA, 2020, p. 1068). Tornar acessível o que acontece dentro dos muros das universidades, centros de pesquisa e outras instituições científicas é um passo importante para mostrar à juventude caminhos alternativos ao negacionismo científico e tirar a população da estrada do retrocesso.

Aprender com a história da ciência pode ainda contribuir para que os estudantes vejam as ciências como opções profissionais, e se tornem cientistas melhores e mais conscientes (MELO, ROCHA, 2017). Como apontam Gooday e colaboradores:

... alunos podem aprender quem foram os principais atores em suas áreas: para além de observar referências de passagem a figuras canônicas, ou leis e constantes epônimas, eles podem aprender sobre Charles Darwin, Michael Faraday ou Marie Curie-Sklodowska e **sobre a vida e obra que levaram à criação do cânone**. [...] [O]s estudantes podem se familiarizar com as principais instituições, episódios formativos e realizações de seus campos, um processo que pode contribuir para a formação da identidade profissional de maneiras que são provavelmente mais efetivas do que simplesmente aprendendo e reproduzindo os conteúdos de livros didáticos de ciências e as rotinas de laboratório.

Possivelmente, o mais importante é a compreensão dos processos mais amplos da ciência, que unicamente sua história pode oferecer. O papel fundamental da história, aqui, é **caracterizar as complexidades de como a ciência se transforma** (GOODAY *et al.*, 2008, p. 325-326, negrito nosso, itálico no original).

Os conhecimentos apontados por Gooday e colaboradores (2008) se integram e contribuem para a aprendizagem do conteúdo curricular obrigatório. A abordagem histórica tem potencial para adquirir um caráter muito prático, não se restringindo a um campo teórico de discussão distante das finalidades do ensino formal (ACEVEDO-DÍAS *et al.*, 2017) e divergente das demandas atuais.

Quando a história da ciência não é só um apêndice ou uma curiosidade, mas um dos pilares do ensino de ciências, é possível que jovens que estão nas escolas reflitam criticamente sobre o discurso em voga de descrédito em relação à ciência e sobre o conteúdo que precisam aprender. Os jovens podem e devem aspirar para si o exercício da ciência. O público leigo

deve conhecer as práticas científicas atuais e as do passado, e ser capaz de perceber que a ciência é mais uma invenção humana, com características próprias e com potencial para trazer contribuições para a saúde e o bem estar das pessoas, para o desenvolvimento sustentável e para a conservação do ambiente (HÖTTECKE, SILVA, 2011). Além disso, a abordagem histórica pode ajudar a superar as queixas manifestadas por muitos estudantes quanto à falta de sentido e a incompreensão da relevância do conhecimento escolar para suas vidas.

Para concretizar a aproximação da história da ciência com o ensino, os professores e professoras precisam estar instrumentalizados em termos historiográficos e ter a sua disposição fontes confiáveis e atualizadas, que tratem do desenvolvimento dos conhecimentos científicos que pretendem ensinar. Esse é um grande desafio em termos de formação, uma vez que a história da ciência e a história da química ainda aparecem de forma discreta em cursos de formação inicial de professores, sendo necessário ir além do oferecimento de uma ou duas disciplinas a respeito. Esta dissertação pretende oferecer uma contribuição para essa aproximação, investigando a criação de um dispositivo no século XIX que viria a se tornar um modelo didático no ensino de química e que está intrinsecamente relacionado a temáticas relevantes para os cidadãos e cidadãs do século XXI (BOULABIAR *et al.*, 2004).

## 2.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

Esta seção apresenta uma breve exposição das bases teóricas da pesquisa e da metodologia de sua execução.

### 2.1 *A contemporânea historiografia da ciência*

É relevante esclarecer o que buscamos expressar quando nos referimos a historiografia da ciência. Em uma primeira aproximação, podemos dizer que a expressão é usada neste trabalho para designar as diferentes formas de se fazer, pensar e ensinar história da ciência. A historiografia da ciência foi objeto de profundas discussões e transformações ao longo do século XX (ALFONSO-GOLDFARB *et al.*, 2005). As próximas seções se destinam a apresentar algumas dessas discussões e quais as linhas mestras que orientam o presente trabalho.

#### 2.1.1 *Anacronismo versus diacronismo*

Até meados do século passado, predominou a concepção de que determinada teoria, ideias ou conceitos científicos atuais são simplesmente consequências “naturais” de atividades do passado. Como se, na atualidade, estivéssemos vivendo em um ponto culminante de acumulação de conhecimento, que não foi alcançado no passado por ineficiências, inabilidades, ausência de recursos ou mesmo insuficiente desenvolvimento tecnológico. Esse modelo de história da ciência estava atrelado ao modelo epistemológico da virada do século XIX para o XX: o da ideia de progresso contínuo, acumulativo e inevitável da ciência. Em alguns momentos da história, esse progresso teria sido travado por inconveniências, mas esse seria o curso natural a ser seguido (ALFONSO-GOLDFARB, 1994). Essa abordagem, chamada de continuísta, preza pela documentação linear dos fatos e pelo presentismo, ou seja, busca no passado os elementos da ciência do presente.

As perspectivas continuísta e presentista são atualmente consideradas anacrônicas, pois seria como medir o passado com uma régua que só viria a existir no presente. Entretanto, o passado possui valor em si mesmo e, conseqüentemente, “não carece de legitimação relativamente ao presente” (KRAGH, 2001, p. 5). É necessário levar em consideração os fatos e o contexto da época alvo do estudo, de modo a obter uma perspectiva não anacrônica, mas *diacrônica*, na qual o passado é legítimo com as suas premissas próprias (KRAGH, 2001). Para Pimentel (2001, p. 192),

No processo de articulação do presente com o passado, o pesquisador volta-se às suas raízes, ativa ou reativa a memória, distanciando-se assim de uma possível fragmentação quando procura, na investigação, o elo entre esses dois tempos históricos da atividade humana, para além de análises “presentistas” que o levariam apenas a ratificar o passado e glorificar o presente. A pesquisa historiográfica constitui-se em evidências coordenadas e interpretadas, exigindo do pesquisador o trabalho de suplantar sua própria contemporaneidade sem deixar-se cair, entretanto, num historicismo que se traduziria em anacronismo, numa interpretação errônea, distorcida do passado.

Apesar de ser uma concepção aceita com grande alcance atualmente, esse pensamento do passado com valor em si próprio e não apenas uma mera confirmação do presente não predominou até meados do século XX. O próprio Georges Sarton, um dos grandes responsáveis pela institucionalização da história da ciência, era adepto de uma historiografia com características enciclopédicas e globalizantes.

Os historiadores e historiadoras da ciência muitas vezes podem se encontrar diante de dificuldades, pois não é possível se desvencilhar da cultura atual para lançar um olhar “neutro” sobre o passado. Sob a perspectiva diacrônica, é necessário que o historiador e a historiadora da ciência estejam conscientes de que são investigadores e investigadoras do passado e que precisam procurar entender os modos de pensar das pessoas que viveram em outras épocas e outros contextos.

A perspectiva anacrônica nos mantém cativos de ideias simplistas, como se a atividade científica necessariamente se restringisse a sucessivos erros e acertos que resultariam na acumulação do conhecimento. Hoje se considera que não é possível compreender, sob tal perspectiva, como a ciência se desenvolveu, pois a ciência atual, em sua essência e epistemologia, existe em uma dimensão distinta de outras possíveis essências e epistemologias que existiram no passado. A perspectiva diacrônica tem valorizado também o papel de diferentes personagens que contribuíram para o desenvolvimento da ciência no passado, ao não se restringir ao estudo e ênfase nos “grandes feitos” e nos acertos dos “grandes nomes” que teriam sido os responsáveis pela justificação e acumulação do conhecimento.

### **2.1.2 *Internalismo e externalismo***

Outra questão que esteve presente no debate historiográfico se refere às possíveis influências de fatores externos à ciência, como aspectos sociais, econômicos e políticos, na

construção do conhecimento. O ponto de vista segundo o qual a ciência se desenvolve em um espaço próprio, delimitado pela lógica e pelas metodologias científicas, independente de influências extracientíficas, foi chamado de *internalismo*. Outro ponto de vista, segundo o qual a ciência é uma construção social, e portanto depende do contexto da sociedade em que foi construída, foi chamado de *externalismo*.

Entre o final do século XIX e as primeiras décadas do século XX, as concepções sobre ciência eram muito influenciadas pelo ponto de vista racional-positivista: a ciência era vista como um empreendimento essencialmente lógico, e os aspectos históricos e fatores sociais não eram considerados como relevantes para sua elaboração e compreensão. A vertente internalista da história da ciência teve na figura do francês de origem russa Alexandre Koyré (1892-1964) um destacado representante. Suas argumentações sobre o pensamento científico sempre estiveram muito associadas ao realismo matemático e cartesiano (CONDÉ, SALOMON, 2015).

A vertente externalista começou a ganhar corpo a partir dos anos 30 do século XX, com a publicação do trabalho de Boris Hessen (1893-1936) intitulado *As raízes sociais e econômicas dos Principia de Newton*. Anos mais tarde, Thomas Kuhn (1922-1996) ganhou grande destaque com a publicação do livro *A Estrutura das Revoluções Científicas*, como veremos mais adiante. O externalismo passou por uma radicalização nos anos 1970 (CONDÉ, 2017), com o surgimento do Programa Forte da escola de Edimburgo, o qual retira totalmente o aspecto da investigação da Natureza como fator conjunto para o desenvolvimento da ciência (SILVA, 2018). Ou seja, o Programa Forte considera que a dimensão empírica e a objetividade têm no máximo uma influência muito sutil frente aos fatores sociais no desenvolvimento científico.

Kuhn era físico teórico e durante sua trajetória acadêmica entrou em contato com a História e com a Filosofia da Ciência, tendo se dedicado ao estudo e a novas elaborações teóricas nesses campos do conhecimento. Sua obra *A Estrutura das Revoluções Científicas*, publicada em 1962, representou um ponto alto na crítica ao positivismo, que se intensificara nos anos 1950 (GAVROGLU, 2007).

As pesquisas científicas que são realizadas em instituições públicas e privadas, o trabalho cotidiano dos cientistas e das cientistas, é o que Kuhn chamou de ciência “normal” (no sentido de “normativa”). O objetivo principal não é “descobrir novidades substantivas de

importância capital” (KUHN, 2013, p. 104): a ciência normal tem a sua identidade e relevância por ampliar o conhecimento, o alcance com que os fenômenos podem ser compreendidos pelos homens e mulheres no âmbito daquilo que Kuhn chamou de um *paradigma*.

Paradigmas são conjuntos de afirmações, teorias, leis, conceitos, metodologias, comportamentos tácitos que, em conjunto, constituem o contexto científico em que os cientistas de uma determinada época operam. “O paradigma contém diversas acepções cognitivas, ontológicas e metodológicas, leis gerais, regras de aplicação das leis e instruções experimentais modelares” (GAVROGLU, 2007, p. 210). Segundo Kuhn, a ciência normal é uma atividade de forte caráter cumulativo e que essencialmente cumpre muito bem sua finalidade: a ampliação do alcance e da assertividade do conhecimento científico. Entretanto, é no insucesso da ciência normal que teorias alternativas ganham corpo, o que pode conduzir a mudanças no paradigma vigente (KUHN, 2013).

Quando surgem anomalias, ou seja, fatos não explicados pelo paradigma, elas são investigadas até que possam ser explicadas. Assim, o paradigma pode ser mudado; ou pode ocorrer a substituição do paradigma por um novo, quando as anomalias são tão grandes e notórias a ponto de não ser mais possível encontrar caminhos para resolvê-las dentro do paradigma vigente. Kuhn (2013) considera essa situação como o “fracasso técnico [do paradigma]” (p. 150). Essa situação conduz a uma crise, e há fatores sociais que podem intensificá-la, como injunções de ordem política e religiosa.

A elaboração de um novo paradigma que substitui o anterior é o “estágio final” de uma revolução científica. Portanto, é possível entender “a estrutura” apontada no título do livro de Kuhn como a sucessão de etapas: ciência normal > anomalia > crise > substituição (ou adequação) do paradigma > (possivelmente uma nova) ciência normal (KUHN, 2013). Um aspecto fundamental na proposta kuhniana é a caracterização da incomensurabilidade de diferentes paradigmas: cada um deles opera com suas próprias regras, conceitos e visões de mundo, não sendo possível avaliar a validade de um paradigma usando as referências de outro.

Para Gavroglu:

O grande interesse em relação ao livro de Kuhn consiste nas novas ideias que ganharam forma através das discussões a respeito dos seus pontos de vista. (...) a ciência constitui uma atividade

extraordinariamente mais complexa do que aquela que foi consagrada mediante o domínio da sua teorização positivista. Através de investigações e elaborações de problemáticas que pela primeira vez são analisadas no livro de Kuhn, começaram a ganhar forma novas abordagens na História das Ciências (GAVROGLU, 2008, p. 212).

A obra de Kuhn, ainda que tenha sofrido críticas de diferentes naturezas, teve grande influência sobre a historiografia da ciência, especialmente em relação à caracterização das rupturas no desenvolvimento do pensamento científico e da influência de fatores sociológicos e psicológicos.

No prefácio de *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Kuhn reconheceu que as ideias ali expostas foram influenciadas pelo médico e filósofo da ciência polonês Ludwik Fleck (1896-1961). A esse respeito, Mourthé Junior (2014) escreveu que “além de [Fleck] antecipar muitas de suas [de Kuhn] próprias ideias, alertou-o para a importância da sociologia da comunidade científica” (p. 120). A partir da citação feita por Kuhn, a obra fleckiana passou a ser traduzida para diferentes idiomas e se difundiu especialmente no último quartel do século XX, vindo a se constituir na atualidade em referencial para reflexões sobre a influência de fatores sociológicos na ciência.

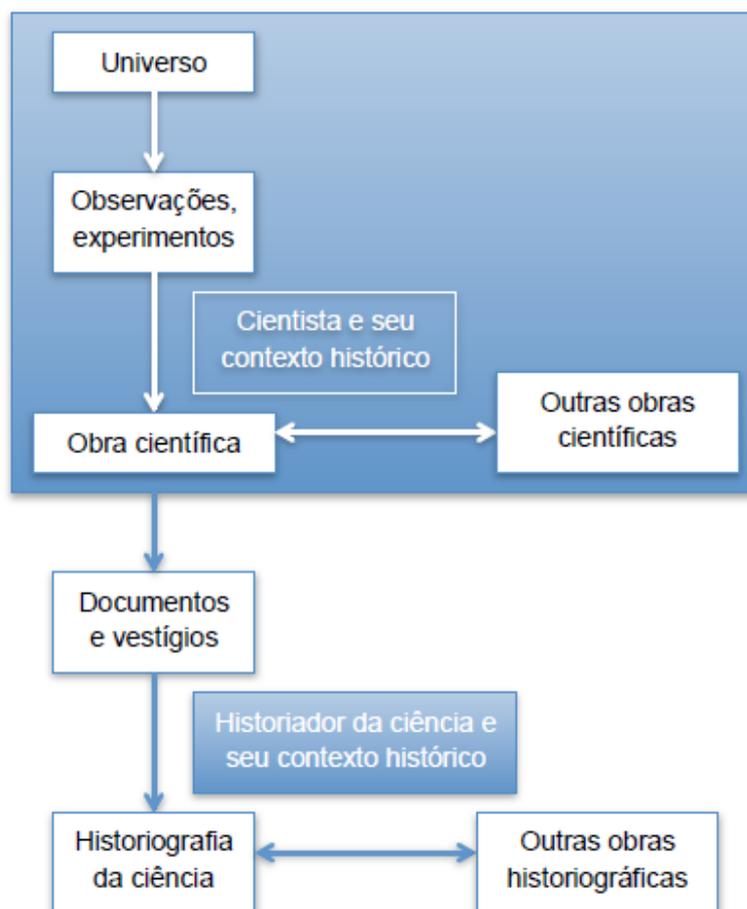
Segundo Debus (1991), a História da Ciência também possui relações com ideologias e com as artes, e esses aspectos não podem ser desconsiderados – tampouco a relação dos pensares científicos com outros campos do conhecimento e atividades humanas. Diante disso, na atualidade, a oposição dicotômica entre internalismo e externalismo foi inteiramente superada, com o reconhecimento, pelos historiadores da ciência, da necessidade de se levar em consideração ambas perspectivas para se obter uma caracterização mais adequada da complexa transformação da ciência ao longo do tempo (MARTINS, 2005).

### **2.1.3 O trabalho do historiador e da historiadora da ciência e o objeto da história da ciência**

O estudo sistematizado dos registros que são feitos durante ou após os eventos que compõem a história – livros, documentos, obras de arte, etc. – é ofício dos historiadores e historiadoras, e também pode ser denominado historiografia (MARTINS, 2005). Entretanto, o significado que estamos atribuindo a historiografia, nesta pesquisa, é o de campo de estudo que se ocupa em estudar o ofício do historiador e historiadora, equivalente ao que Martins (2005, p. 116) classifica como um “meta-discurso, ou ainda, uma meta-historiografia”.

O trabalho do historiador e da historiadora da ciência não deve se ocupar unicamente em conhecer, interpretar e aprofundar seu próprio conhecimento em relação aos conhecimentos científicos, pois este não é seu objeto exclusivo de investigação: existe um conjunto de fatores de análise para o historiador da ciência que extrapola a própria ciência, o qual se concebe como objeto da historiografia da ciência, conforme discutido nas seções anteriores. Assim sendo, a ciência é vista e investigada principalmente enquanto processo histórico de construção por seres humanos em suas interações com a Natureza.

Há, ainda, que considerar o próprio contexto em que o historiador e a historiadora da ciência estão inseridos como fator a influenciar seu trabalho, fazendo com que o objeto da história da ciência esteja em constante reformulação (CANGUILHEM, 1972). A Figura 05 ilustra as conexões entre os objetos da ciência, o trabalho dos cientistas e das cientistas, o objeto da história da ciência e o trabalho dos historiadores e historiadoras da ciência.



**Figura 05:** Relação entre os objetos da ciência e da historiografia da ciência.

**FONTE:** Pulido, 2016, p. 25 (adaptado de Martins, 2005, p. 140).

O ofício do historiador e da historiadora da ciência se dá, essencialmente, por meio da análise de *fontes* – em geral, são documentos, textos escritos, livros, registros impressos,

anotações pessoais ou experimentais, instrumentos, ilustrações, mapas, plantas, edificações, obras de arte, entre outros. A contextualização histórica e cultural dos documentos possibilita a compreensão da obra científica em sua própria dimensão temporal. Quando se analisa documentos de um determinado período, é possível entender caminhos e descaminhos, continuidades e rupturas, a evolução ou o abandono de um conceito científico, de ideias e de teorias. Os documentos da época que é alvo dos estudos são chamados de fontes primárias. As fontes produzidas após os eventos de interesse, especialmente as produções de historiadores da ciência, constituem as chamadas fontes secundárias. É esperado que, quanto mais a fonte se aproximar do autor ou período estudado, mais fidedigno o estudo terá condições de ser (MARTINS, 2005).

É importante ressaltar a importância da análise de documentos, cuja riqueza de interpretação pode trazer elementos-chave para a pesquisa. Porém, os desafios a serem enfrentados em relação à reinterpretação, a uma nova análise de uma fonte, não são triviais. Um exemplo é o próprio idioma, vocábulos que podem ter caído em desuso, ou que podem ter passado por ressignificações ao longo do tempo (MARTINS, 2001). Quando temos como objeto de investigação fontes que foram traduzidas para outro (ou outros) idiomas, é pertinente, quando possível, comparar a tradução com o texto original, ou diferentes traduções entre si. A natureza da fonte, se o autor da fonte fala por si ou por um determinado conjunto de pessoas, são outros fatores que devem ser levados em consideração no momento da análise, bem como a necessidade de se ter conhecimento acerca do período histórico que está sendo estudado, em seu âmbito social, político, econômico e cultural (MARTINS, 2005).

Na atualidade, os historiadores e historiadoras da ciência não se ocupam mais em fazer abordagens “enciclopédicas” (isto é, abrangendo centenas ou milhares de anos, narrando “toda” a história de uma ideia ou ciência), nem em buscar os “precursores” das ideias da atualidade, concepção chamada de *precursionismo* (busca pelos “pais” de uma ideia ou ciência), pois não trabalham com a concepção de ciência linear, acumulativa e guiada unicamente pelas “verdades” que a Natureza nos revela. Em suma, a contemporânea historiografia da ciência se ocupa de cuidadosas e particulares análises de fontes, na forma de estudos de caso históricos bem delimitados, buscando aprofundar a compreensão das ideias, conceitos, teorias e práticas científicas no próprio contexto em que elas foram elaboradas (ALFONSO-GOLDFARB *et al.*, 2005).

## 2.2 Metodologia

Esta dissertação se constitui em duas partes: o estudo de caso histórico sobre a pilha de Daniell e a análise da apropriação da pilha como modelo didático em livros de química geral. A elaboração de cada uma das partes seguiu um percurso metodológico distinto, conforme será apresentado a seguir.

### 2.2.1 Estudo de caso histórico

Essa fase da pesquisa incluiu a leitura sistemática e analítica dos documentos primários e fontes secundárias. Fizemos uso de seis fontes primárias: duas edições de um livro escrito por Daniell e quatro de suas comunicações à *Royal Society* (Tabela 1). O livro, intitulado *An introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view to the forces which concur to the production of chemical phenomena* [Uma introdução ao estudo da filosofia química: uma visão preparatória para as forças que concorrem para a produção de fenômenos químicos], é um grande tratado sobre o conhecimento químico da época. As duas edições, publicadas em 1839 e 1843, foram obtidas via *Google Books*<sup>®</sup>.

Tabela 1: Fontes primárias utilizadas para o estudo de caso histórico

Título	Ano
<i>An introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view to the forces which concur to the production of chemical phenomena</i> (1 <sup>st</sup> ed.)	1839
<i>An introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view to the forces which concur to the production of chemical phenomena</i> (2 <sup>nd</sup> ed.)	1843
<i>On voltaic combinations. In a letter adressed to Michael Faraday (...)</i> [Sobre as combinações voltaicas. Em uma carta endereçada a Michael Faraday]	1836
<i>Additional observations on voltaic combinations</i> [Observações adicionais sobre as combinações voltaicas]	1836
<i>Further observations on voltaic combinations</i> [Novas observações sobre as combinações voltaicas]	1837
<i>Fifth letter on voltaic combinations</i> [Quinta carta sobre as combinações voltaicas]	1839

As fontes se complementam em termos de abordagem: o livro tem um conteúdo abrangente, enquanto as cartas são específicas em relação aos estudos sobre a pilha. Para o estudo de caso foram selecionados os capítulos de interesse no livro, que abordam eletricidade, máquinas elétricas, circuitos elétricos, eletroquímica, entre outros. As páginas de interesse foram destacadas e traduzidas para o português pela pesquisadora para uso próprio, utilizando notas de comentários nas margens de cada parágrafo do arquivo em PDF.

Durante o trabalho de tradução houve atenção especial para a compreensão dos fenômenos em contexto, e para determinadas palavras – tanto aquelas atualmente em desuso quanto aquelas que foram ressignificadas ao longo do tempo. Os trechos mais relevantes das duas edições do livro foram reunidos em diário de pesquisa, incluindo aqueles em que Daniell fez citações diretas a outros autores, bem como imagens e tabelas. A seleção de trechos com citações permitiu observar a influência de William Snow Harris (1791-1867) sobre o trabalho de Daniell e para o desenvolvimento de outros dispositivos e teorias que incluíam conhecimentos sobre condutividade e resistividade de metais. O mapeamento das imagens e respectivas legendas presentes nos trabalhos de Daniell, e reunidas no diário de pesquisa, auxiliou a compreensão dos detalhes do desenvolvimento da pilha e das condições técnicas da época.

A análise das duas edições de *An introduction to the study of chemical philosophy* permitiu identificar algumas das fontes de Daniell (como Snow Harris e Faraday), bem como ter um panorama das teorias da época. Porém, o processo de desenvolvimento da pilha de Daniell não estava suficientemente documentado ou detalhado nesse livro. Diante disso, foi feita uma busca por outras fontes primárias. Recorremos ao acervo digitalizado das *Philosophical Transactions of the Royal Society*, cujas publicações mais antigas datam de 1665. Fazendo a busca por palavras-chave no acervo, foram localizadas diversas comunicações feitas por Daniell, dentre as quais selecionamos 14 comunicações relacionadas à bateria constante. Desse conjunto, quatro foram identificadas como relevantes para esta pesquisa, e foram analisadas em detalhes. Algumas comunicações mencionavam a pilha de Daniell, porém tratavam sobre eletrólise e não sobre o processo de construção da bateria constante, e por isso não foram analisadas aqui.

Após a realização do estudo de caso histórico, foi iniciado o trabalho com os livros didáticos de química geral.

### ***2.2.2 Análise de livros didáticos de química geral***

Os livros didáticos que compuseram a amostra da pesquisa provêm do acervo de livros de química geral, publicados nos EUA e voltados ao ensino superior, pertencente ao Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ) do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP).

O critério para seleção dentre os livros disponíveis foi a presença de alguma abordagem da pilha de Daniell, ou a existência de menção a pilhas com eletrodos de cobre e zinco. Alguns livros do acervo do GHQ foram descartados, pois seus capítulos ou seções sobre pilhas ou eletroquímica não estavam disponíveis, por não terem sido digitalizados na íntegra. Foi considerada a localização do conteúdo no livro, a quais conteúdos ou conceitos o modelo didático da pilha de Daniell se encontra relacionada, a presença ou não de abordagem histórica, e se as obras descrevem de alguma forma os usos e aplicações da bateria constante (mesmo na ausência de menção ao nome de Daniell associado à pilha). Também procuramos identificar quais elementos cada modelo didático preserva ou altera em relação ao dispositivo original construído por Daniell.

A análise contemplou vinte e cinco livros selecionados do acervo do GHQ, listados no Tabela 2. Consultando livros anteriores ao recorte temporal da pesquisa foi possível constatar que livros didáticos de química geral do final do século XIX (década de 1890) e dos primeiros anos do século XX pouco se referem (ou não se referem) à pilha de Daniell – sugerindo que, nesse período, ela ainda não havia se consolidado como modelo didático.

A intenção inicial era contemplar livros que datassem também das décadas finais do século XX, e para isso seria utilizado o acervo da biblioteca do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. Porém, devido à pandemia de covid-19, as bibliotecas da Universidade permaneceram fechadas desde meados do mês de março de 2020 até a data de depósito desta dissertação, o que impediu o acesso aos livros.

Tabela 2: Livros didáticos incluídos na análise

Título	Autor(es)	Ano
<i>Descriptive Chemistry</i>	Newell	1912
<i>Treatise on General and Industrial Inorganic Chemistry</i>	Molinari	1912
<i>General Chemistry: Theoretical and Applied</i>	Blake	1913
<i>A Course in General Chemistry</i>	McPherson & Henderson	1913
<i>General Chemistry for Colleges</i>	Smith	1916
<i>An Elementary Study of Chemistry</i>	McPherson & Henderson	1917
<i>Principles of Chemistry</i>	Hildebrand	1918
<i>General Chemistry</i>	Holmes	1922
<i>An Introduction to Chemistry: a Pandemic Text</i>	Timm	1932
<i>General Chemistry: a First Course</i>	Young & Porter	1940
<i>Principles of General Chemistry</i>	Brinkley	1941
<i>General Chemistry: an Introduction to Descriptive Chemistry and Modern Chemical Theory</i>	Pauling	1947
<i>General Chemistry</i>	Schlesinger	1950
<i>College Chemistry</i>	Frey	1952
<i>General Chemistry</i>	Luder, Vernon & Zuffanti	1953
<i>General Chemistry</i>	Markham & Smith	1954
<i>Textbook of Chemistry</i>	Mack Jr. <i>et al.</i>	1956
<i>College Chemistry</i>	Nebergall & Schmidt	1957
<i>Chemistry</i>	Quagliano	1958
<i>General and Inorganic Chemistry for University Students</i>	Partington	1966
<i>General Chemistry</i>	Pauling	1970
<i>General Chemistry</i>	Whitten <i>et al.</i>	2000
<i>Chemistry: the Central Science</i>	Brown <i>et al.</i>	2002
<i>General Chemistry</i>	Ebbing & Gammon	2007
<i>Chemistry</i>	Chang	2010

Embora não tenha sido possível analisar livros das décadas de 1970 a 1990, pôde-se estabelecer uma comparação entre os livros didáticos mais antigos e outros mais recentes, ainda em uso. Para isso, foram incluídos na análise quatro livros de química geral publicados no século XXI e bastante utilizados em cursos superiores na atualidade.

### 3.0 ESTUDO DE CASO HISTÓRICO

Neste estudo de caso histórico é apresentada uma breve exposição da biografia de Daniell, seguida por uma apresentação mais detalhada do processo de desenvolvimento de sua pilha.

#### 3.1 *John Frederic Daniell – esboço biográfico*

John Frederic Daniell (Figura 06) nasceu em 12 de março de 1790 em Strand, um pequeno distrito de Londres, localidade em que foi educado formalmente (SISTRUNK, 1952). Desde jovem possuía afinidade pela investigação da Natureza. Seguindo tradições da época e também por interesse pessoal, seus pais – George Daniell, jurista, e Louisa Hahn – preocuparam-se em fornecer uma educação de qualidade para o filho, que a recebeu em casa (GILLISPIE, 1990). Daniell era de religião anglicana, assim como a maioria da população de seu país.

Desde jovem, frequentou palestras que abrangiam diversos assuntos da filosofia natural. Isso foi muito importante para que aguçasse e intensificasse seus interesses pessoais e também estreitasse laços com pessoas que já estavam nesse meio. Em 1812, com apenas 22 anos, se associou à *Royal Institution*<sup>2</sup>, sendo aceito como membro oficial em 1819. Entre os anos de 1828 até sua morte, foi o responsável pela seção de química das comunicações oficiais da *Royal Institution*. Seu ingresso na instituição foi intermediado pelo químico William Thomas Brande (1788-1866), cujas conferências na *Anatomy School of Great Windmill Street* Daniell assistiu por diversas vezes (JAMES, 2004).

---

<sup>2</sup> A *Royal Institution of Great Britain* é uma instituição fundada em Londres em março de 1799 com o objetivo de promover divulgação científica e tecnológica para o público leigo (<https://www.rigb.org/>). Acesso em 8 maio 2021).



**Figura 06:** John Frederic Daniell.

**FONTE:** <https://www.worldofchemicals.com/205/chemistry-articles/john-frederic-daniell-inventor-of-daniell-cell.html> .  
Acesso em 8 maio 2021.

Daniell começou a trabalhar em uma refinaria de açúcar de um parente em 1808, e por lá ficou durante 13 anos (GILLISPIE, 1990), o que também contribuiu para seu envolvimento com processos químicos. Havia um interesse particular em melhorar os rendimentos e os processos de obtenção de açúcar, que era um produto caro e raro na Europa do século XIX. A produção de açúcar motivou processos de colonização de outros países pelos europeus, inclusive pela Inglaterra. Na refinaria, executou trabalhos manuais e foi também administrador. Trabalhou posteriormente como diretor na *Continental Gas Company*, pela qual visitou cidades na Alemanha e na França para estudar possibilidades de iluminação pública (DAINTITH *et al.*, 1981).

Em setembro de 1817, Daniell casou-se com Charlotte Rule, com quem teve sete filhos: dois homens e cinco mulheres. Foram casados por dezessete anos até a morte de Charlotte em 1834 – um duro golpe para Daniell, cuja saúde foi se deteriorando até seu falecimento em 1845 (JAMES, 2004). Os trabalhos fora das instituições científicas não o afastaram de seu grande interesse pela filosofia natural: manteve seus estudos empíricos de forma simultânea com sua vida profissional. Suas qualidades profissionais fizeram com que se tornasse conselheiro governamental na questão da proteção dos navios da marinha britânica contra a corrosão, e também no que se refere a proteger as embarcações de relâmpagos (GILLISPIE, 1990).

Daniell também trabalhou intensamente com meteorologia. Em 1823, reuniu e publicou mais de duas dezenas de trabalhos sobre diferentes aspectos de seus estudos

atmosféricos, geológicos e climáticos, em um livro que ganhou três edições: o *Meteorological Essays* [Ensaio Meteorológico]. Realizou estudos também em cristalografia, buscando compreender a estrutura de diferentes minerais, além de dissertar sobre a cristalização e densidade de sais. Tinha ainda outro grande interesse: criar dispositivos que possibilitassem a experimentação da Natureza (BOULABIAR *et al.*, 2004).

Além de seu empreendimento mais famoso, a pilha que leva seu nome, é importante destacar outras contribuições não tão conhecidas de Daniell, como o barômetro de água (um instrumento utilizado para medir pressão atmosférica), o pirômetro (instrumento para medida de calor) e o higrômetro de ponto de orvalho. Em 1820, desenvolveu esse higrômetro para medir umidade atmosférica, instrumento que ainda é utilizado atualmente. Com a utilização de seu barômetro, as medições de pressão atmosférica da Inglaterra foram as mais precisas por muitos anos (GILLISPIE, 1990). Também investigou sobre o calor e temperaturas ideais para fornos de fundição. Seu trabalho sobre a umidade ideal para ambientes de estufas o levou a receber a *Medalha Rumford*, oferecida pela *Royal Society* em 1832. Foi reconhecido também por suas contribuições em termos de medições e registros climáticos.

Além de administrador e experimentador, era professor e divulgador da ciência. Preocupava-se com a popularização e divulgação do conhecimento para o público leigo, promovendo publicações e atuando em instituições que tinham esses objetivos. Em 1816, relançou com William Brande o *Quarterly Journal of Science and the Arts*, publicado pela *Royal Institution*. Foi um dos mentores da *Society for Promoting Useful Knowledge* (1827), e de 1836 até sua morte foi professor no departamento de química e geologia do seminário militar da Companhia das Índias Orientais. Também esteve diretamente envolvido com a fundação da *Chemical Society of London* (1836). Seus contatos profissionais e seu renome fizeram com que em 7 de fevereiro de 1831 fosse convidado para lecionar química no recém fundado *King's College* de Londres, local onde viria a desenvolver os estudos empíricos em eletroquímica pelos quais ficou mais conhecido (GOLD, 1973).

No *King's College*, antes de se dedicar integralmente à eletroquímica, trabalhou com o estudo de espectros de gases, em parceria com William Allen Miller (1817-1870). Preocupado em lecionar da melhor forma possível e também em atingir os alunos iniciantes em química, publicou em 1839 o já mencionado livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*. Uma segunda edição, revisada e com mais conteúdos, foi publicada em 1843, indicando a preocupação do autor em manter o público atualizado sobre os conhecimentos

mais recentes. Na folha de rosto de ambas edições desse livro, Daniell se identifica apresentando suas diferentes práticas profissionais, evidenciando assim sua versatilidade ao assumir diferentes papéis nas instituições em que trabalhou (Figura 07).

AN INTRODUCTION  
TO  
THE STUDY  
OF  
CHEMICAL PHILOSOPHY:  
BEING A PREPARATORY VIEW OF  
THE FORCES WHICH CONCUR TO THE PRODUCTION  
OF  
CHEMICAL PHENOMENA.

BY  
**J. FREDERIC DANIELL, F.R.S.;**  
PROFESSOR OF CHEMISTRY IN KING'S COLLEGE, LONDON;  
LECTURER ON CHEMISTRY AND GEOLOGY IN THE HON. EAST INDIA COMPANY'S MILITARY  
SEMINARY AT ADDISCOMBE;  
AND AUTHOR OF "METEOROLOGICAL ESSAYS."



LONDON:  
JOHN W. PARKER, WEST STRAND.  
M.DCCC.XXXIX.

(a)

AN  
INTRODUCTION TO THE STUDY  
OF  
CHEMICAL PHILOSOPHY:  
BEING  
A PREPARATORY VIEW OF THE FORCES WHICH  
CONCUR TO THE PRODUCTION  
OF  
CHEMICAL PHENOMENA.



BY  
**J. FREDERIC DANIELL, For. Sec. R.S.;**  
PROFESSOR OF CHEMISTRY IN KING'S COLLEGE, LONDON;  
LECTURER ON CHEMISTRY AND GEOLOGY IN THE HON. EAST INDIA COMPANY'S MILITARY  
SEMINARY AT ADDISCOMBE;  
AND AUTHOR OF "METEOROLOGICAL ESSAYS."



THE SECOND EDITION, REVISED AND ENLARGED.

LONDON:  
JOHN W. PARKER, WEST STRAND.  
M.DCCC.XLIII.

(b)

**Figura 07:** Folhas de rosto das duas edições de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*. Destaque para a forma como o autor é apresentado: “Professor de química no King’s College, Londres; Professor de química e geologia no Honorável Seminário Militar da Companhia das Índias Orientais em Addiscombe, e autor de *Ensaio Meteorológicos*”: (a) primeira edição (1839) e (b) segunda edição (1843). **FONTE:** Daniell (1839a; 1843).

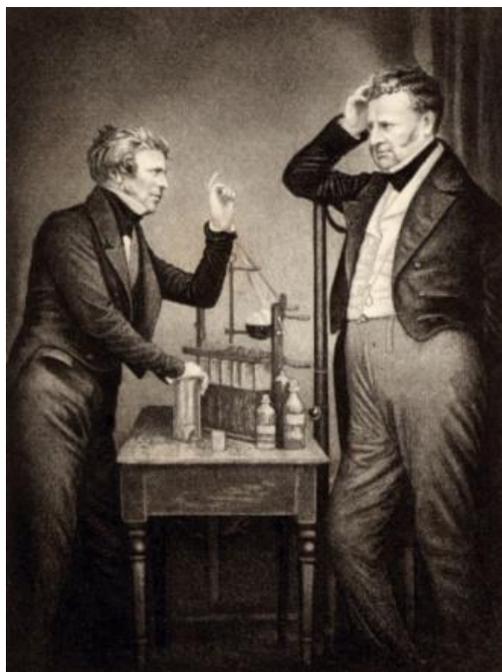
O trabalho na *Royal Institution* e as afinidades pessoais o levaram a se aproximar de Michael Faraday (1791-1867) (BURNS, 1993). Daniell reproduziu experimentos de Faraday em seu laboratório, buscando a compreensão de diferentes fenômenos relacionados à eletrólise e eletricidade de forma geral, e passou a se dedicar integralmente à eletroquímica. Em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, manifestou seu desejo de que as pessoas conhecessem o trabalho de Michael Faraday. Suas próprias inquietações o levaram a uma independência de atuação, e à invenção de um novo dispositivo, capaz de fornecer uma corrente elétrica contínua por um intervalo de tempo considerável para a época. Os dispositivos até então tinham um de seus constituintes metálicos, sendo zinco o mais utilizado, corroído pelo eletrólito, ou apresentavam outros inconvenientes que não permitiam o funcionamento do dispositivo como desejado.

Daniell dedicou quase uma década a sua pesquisa para a melhoria da pilha voltaica, e obteve êxito: seu dispositivo se tornou uma referência em termos de suprimento de eletricidade. A bateria constante também foi utilizada como um instrumento auxiliar importante em outras pesquisas que precisavam de uma fonte de eletricidade. O próprio Daniell a utilizou por muito tempo em seus estudos sobre o fenômeno da eletrólise, e em outras investigações sobre as afinidades químicas, a circulação dos então chamados *fluidos elétricos* por circuitos voltaicos, a influência da temperatura sobre a própria bateria, entre outras. Esteve em constante comunicação com Faraday, de quem veio a se tornar muito próximo (Figura 08) (DANIELL, 1836a; DANIELL, 1837; DANIELL, 1839; DANIELL, 1843).

Além de se mostrar muito útil para as pesquisas da época, sua bateria foi importante para suprir eletricidade para a rede de telégrafos em toda a Inglaterra, o que será mais detalhado adiante. Na eletrometalurgia, a pilha de Daniell foi um dispositivo muito utilizado em processos de eletrodeposição (MERTENS, 1998). Em meados do século XIX, com a crescente urbanização e industrialização dos centros europeus, era extremamente necessário e urgente que novas formas de comunicação se tornassem eficientes, assim como processos industriais economicamente relevantes, como a mineração e a metalurgia.

Daniell foi um dos poucos estudiosos agraciados com todas as honrarias da *Royal Society*: além da *Medalha Rumford*, recebeu por sua bateria e seus estudos em eletroquímica a *Medalha Copley* em 1836 e a *Royal Medal* em 1842. Profundamente dedicado e curioso, publicou muitos trabalhos durante sua vida profissional. Sua morte precoce e súbita, em 17 de

março de 1845, ocorreu após um derrame cerebral (apoplexia), momentos depois de comparecer a um compromisso de trabalho na *Royal Institution* (JAMES, 2004).



**Figura 08:** Michael Faraday (à esquerda) e Daniell (direita). **FONTE:** *Encyclopaedia Britannica* (<https://www.britannica.com/biography/John-Frederic-Daniell> . Acesso em 8 maio 2021).

### **3.2 As publicações de Daniell sobre a pilha**

Para compreender o processo de construção e desenvolvimento da pilha de Daniell, recorreremos aos documentos primários especificados na Tabela 01. As seções a seguir descrevem a análise dessas fontes primárias.

#### **3.2.1 *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy: being a preparatory view which concur to the production of chemical phenomena***

É possível notar, pelo próprio título do livro, seu caráter introdutório ao estudo da química, entendida como uma filosofia da Natureza. Daniell se preocupou em formalizar um tratado que contivesse todo o escopo da química e da filosofia natural de sua época. Buscava, de várias formas, desempenhar um papel relevante na formalização do ensino de química em seu tempo, e tornar a química mais acessível ao público leigo. As duas edições de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy* foram preparadas enquanto lecionava no *King's College*, onde desenvolvia pesquisas experimentais e demonstrações públicas. Segundo o autor, a química era uma ciência experimental e não deveria ser ensinada sem que

os pupilos tivessem contato com o aspecto prático da filosofia química: “A química é uma ciência experimental (‘todas suas induções são fundamentadas sobre fenômenos palpáveis’), e é por isso que um curso de química precisa incluir demonstrações experimentais” (DANIELL, 1843, p. 22-23).

Embora quisesse que seu público viesse a conhecer e interagir com o conhecimento químico de sua época, o autor enfatiza que seu livro não é um guia ou um mero manual, e sim um instrumento para melhor conhecer a arte e a filosofia química, que seriam instâncias distintas do conhecimento (DANIELL, 1843). Isso mostra um empenho em materializar oportunidades para que as pessoas vivenciassem a química de forma significativa:

Não foi parte do meu plano construir um sistema ou um manual de química: já existem diversos trabalhos excelentes que tornam esse esforço completamente desnecessário. Mas mantenho a esperança de que as páginas que se seguem sejam consideradas como uma preparação adequada para o estudo de tais sistemas [de química] (DANIELL, 1839a, p. ix).

Além de possibilitar que as pessoas pudessem conhecer a filosofia química como um todo, almejava que os estudos de Faraday fossem de conhecimento do público geral. Daniell afirma que reproduziu todos os experimentos de Faraday sobre eletrólise e outros fenômenos relacionados à eletricidade (DANIELL, 1839, p. v). Na dedicatória que consta das duas edições, Daniell escreveu:

Meu caro Faraday, a você dedico esta tentativa de colocar entre os elementos da Ciência as grandes descobertas com as quais você adornou esta era prolífica. Sei que você não ficará descontente por eu havê-las considerado capazes de ser transformadas em objeto de ensino familiar.

O sucesso deste humilde esforço, não falhando meu propósito, será devido a você. Pois a seu gentil encorajamento e a suas sempre prontas explicações devo as facilidades que desfrutei ao segui-lo de perto em sua esplêndida carreira (DANIELL, 1839, p. v).

Pode-se dizer que *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy* tinha dois objetivos: um, mais específico, em relação aos resultados e experimentos de Faraday; outro, mais geral, relacionado à arte e filosofia química. As duas edições do livro são muito abrangentes em termos de conteúdo: incluem conhecimentos não só do campo da química, mas também da física, como gravidade, calor, luz, magnetismo, além de outros, como os estudos empíricos sobre fenômenos atmosféricos, feitos pelo próprio autor e por outros contemporâneos seus. É possível observar essa abrangência de conteúdos no sumário da segunda edição, reproduzido nas Figuras 09 e 10.

## TABLE OF CONTENTS.

SECTION	PAGE
I. MATTER AND FORCE .. .. .	1
Varieties of Force .. .. .	11
II. GRAVITY AND WEIGHT .. .. .	20
Specific Gravity .. .. .	26
III. ELASTICITY AND THE ATMOSPHERE .. .. .	29
Elastic Fluids .. .. .	30
Sound .. .. .	43
IV. HOMOGENEOUS ATTRACTION .. .. .	46
V. HETEROGENEOUS ADHESION .. .. .	58
Capillary Attraction .. .. .	60
Endosmose, &c. .. .. .	72
VI. CRYSTALLIZATION .. .. .	78
Polyhedral Atoms .. .. .	89
Spherical Atoms .. .. .	92
Systems of Crystals .. .. .	95
VII. HEAT .. .. .	99
Expansion .. .. .	102
Temperature .. .. .	104
Conduction of Heat .. .. .	120
Convection .. .. .	125
Heat of Composition .. .. .	130
VIII. LIGHT .. .. .	165
Theories of Light .. .. .	168
Decomposition of Light .. .. .	180
Double Refraction .. .. .	193
Polarization .. .. .	195
IX. RADIANT HEAT .. .. .	208
Diathermancy .. .. .	219
Differences of Caloric Rays .. .. .	223
X. ELECTRICITY .. .. .	228
Electrical Induction .. .. .	244
Electrical Charge .. .. .	258
Electrical Discharge .. .. .	270
Atmospheric Electricity .. .. .	287

Figura 09: Primeira página do sumário da segunda edição de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*. FONTE: Daniell (1843).

TABLE OF CONTENTS.

	PAGE
<b>XI. MAGNETISM</b> .. .. .	203
Terrestrial Magnetism .. .. .	300
<b>XII. CHEMICAL AFFINITY</b> .. .. .	306
Classical Elements .. .. .	307
Laws of Composition .. .. .	325
Non-Metallic Elements .. .. .	372
Metallic Elements .. .. .	423
Secondary Combinations .. .. .	431
Theory of Salts .. .. .	433
Concurrence of Forces .. .. .	440
Photography .. .. .	453
<b>XIII. CURRENT AFFINITY</b> .. .. .	462
Simple Circuits .. .. .	464
Ohm's Formula .. .. .	488
Compound Circuits .. .. .	496
Variable Resistances .. .. .	514
<b>XIV. LAWS OF ELECTROLYSIS</b> .. .. .	525
Electrolysis of Primary Compounds .. .. .	526
Electrolysis of Secondary Compounds .. .. .	532
Applications of Electrolytic Force .. .. .	550
<b>XV. THERMO ELECTRICITY</b> .. .. .	554
Electro-Thermancy .. .. .	559
<b>XVI. ELECTRO-MAGNETISM</b> .. .. .	560
Applications of Electro-Magnetic Force .. .. .	574
Electro-Magnetic Machines, Telegraph, &c. .. .. .	575
<b>XVII. MAGNETO-ELECTRICITY</b> .. .. .	581
Magneto-Electric Machines .. .. .	586
<b>XVIII. ANIMAL ELECTRICITY</b> .. .. .	595
<b>XIX. ORGANIC CHEMISTRY</b> .. .. .	602
Ultimate Organic Analysis .. .. .	606
Alimentary Principles .. .. .	613
Non-Alimentary Principles .. .. .	621
<b>XX. METAMORPHOSES OF ORGANIC PRODUCTS</b> .. .. .	641
Fermentation .. .. .	642
Etherification, &c. .. .. .	646
Pyrogenous Products .. .. .	674
<b>XXI. ATOMIC THEORY</b> .. .. .	677

Figura 10: Segunda página do sumário da segunda edição de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*. FONTE: Daniell (1843).

Os objetivos de Daniell determinaram a forma pela qual ele construiu seu tratado. Buscando que o leitor tivesse condições de reproduzir seus procedimentos, forneceu as instruções necessárias. Para além de suas explicações, ele também abordou se determinado conteúdo deveria ser ensinado naquele momento:

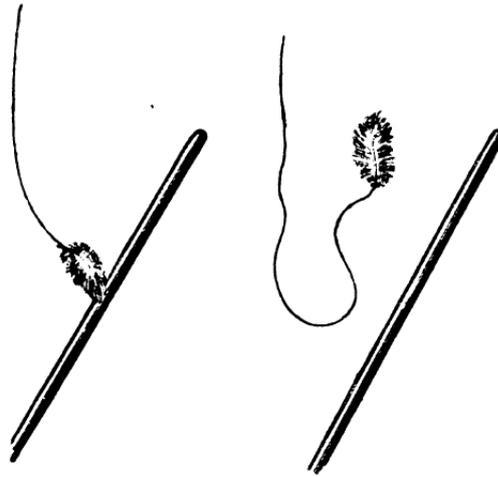
Tais visões [*i.e.*, *hipóteses sobre a eletricidade*], entretanto, **não devem ser apresentadas a iniciantes na ciência**, e provavelmente não será na época atual que o professor será capaz de dispensar os andaimes com cuja assistência o tecido da ciência da eletricidade foi construído em suas dimensões e proporções presentes (DANIELL, 1843, p. 233, grifo nosso).

Ainda nessa página, Daniell também forneceu indicações sobre como o público deveria entender o que se abordava no livro, referindo-se às hipóteses sobre os *fluidos elétricos*:

(...) o estudante **nunca deve esquecer** que tais fluidos hipotéticos podem não ter existência real, e que as ações peculiares para as quais se recorre a eles para explicar podem ser atribuíveis a poderes com as quais a matéria pode ser dotada, sem a intervenção de qualquer meio que tenha sido imaginado (DANIELL, 1843, p. 233, grifo nosso).

O texto foi delineado de modo a culminar no estudo dos fenômenos elétricos em conjunto com os dispositivos que vinham sendo desenvolvidos. Ao organizar seu livro, Daniell entendeu ser necessário apresentar primeiro as ideias relativas à eletricidade e aos fenômenos a ela relacionados, e então a invenção de diferentes dispositivos. Primeiramente, ele tratou da eletricidade estática, começando pelas ideias atribuídas ao filósofo grego Tales de Mileto e mencionando tudo o que acreditava ser relevante sobre o assunto, de evidências experimentais que intrigavam as pessoas às práxis empíricas relacionadas aos fenômenos. Através dos cuidados e comentários que guiam a leitura, nota-se uma preocupação pela forma como uma pessoa leiga passaria a conceber a química.

Nesse contexto, aborda as observações referentes a atração e repulsão elétricas. Uma pena, quando aproximada de um bastão de vidro previamente esfregado em um lenço de seda ou outro material, poderia ser atraída ou repelida pelo bastão (Figura 11). As proposições e elaborações teóricas para explicar esses fenômenos se referem, de alguma forma, a entidades que se opõem e assim se complementam para atingir um estado neutro. As proposições se inspiravam em analogias com entidades de caracteres opostos que se manifestam na Natureza por meio de comportamentos antagônicos.



**Figura 11:** Atração e repulsão de corpos em diferentes estados (vítreo e resinoso). **FONTE:** Daniell (1843).

Na época, havia duas principais concepções acerca da natureza da eletricidade: as hipóteses de Du Fay e de Franklin. Charles Du Fay (1698-1739) propôs a existência de dois fluidos elásticos e imponderáveis, um *vítreo* e um *resinoso*, que formariam o *fluido elétrico* (DANIELL, 1843). As denominações *vítreo* e *resinoso* tinham origem nas evidências observadas em experimentos como o descrito acima com uma pena, nos quais o uso de um bastão de vidro ou um bastão de resina geravam resultados opostos. Os pressupostos mecanicistas<sup>3</sup> que guiavam as teorias da época permitem compreender por que se falava especificamente sobre fluidos. Para Benjamin Franklin (1706-1790), por sua vez, haveria um único *fluido elétrico*; e quando houvesse desequilíbrio desse *fluido* em diferentes corpos é que ocorreria atração e repulsão entre eles. Daniell aborda ambas as teorias, e racionaliza a respeito de sua veracidade:

De acordo com a teoria de Du Fay, os dois estados são denominados vítreo e resinoso; de acordo com a teoria de Franklin, eles são distinguidos como positivo e negativo. É óbvio que ambas as hipóteses não podem ser verdadeiras; e, de fato, pode ser demonstrado que nenhuma delas nos apresenta os processos ou mecanismos reais dos fenômenos (DANIELL, 1843, p. 222).

---

<sup>3</sup> O mecanicismo pode ser entendido como um conjunto de concepções segundo as quais “a natureza, o mundo e o universo eram estudados, entendidos e tidos a partir de uma ordem mecânica, objetiva e exterior ao homem” (SOARES, 2007, p. 11). Tais concepções de uma ciência mecanicista, empirista e experimental se desenvolveram a partir do século XVII e podem ser encontradas, por exemplo, nos *Philosophiae naturalis principia mathematica* e na *Opticks* de Isaac Newton (1643-1727). Os fenômenos naturais eram então explicados em termos de entidades materiais, como no caso da eletricidade, que seria constituída pelos fluidos elétricos.

Daniell reconhece que as proposições teóricas então disponíveis ainda não eram capazes de explicar completamente os fenômenos, porém se inclina para a teoria de Du Fay, embora não deixe exatamente claro o porquê.

A experimentação a respeito da ciência elétrica sempre foi acompanhada pela invenção de dispositivos. Isso decorre de uma necessidade intrínseca aos estudos, uma vez que o objeto de investigação não é visível ou palpável. Inicialmente, quando era necessário identificar fluidos elétricos, ou corpos sob sua ação, lançava-se mão do eletrômetro de folhas de ouro. Nele, finas folhas de ouro, suspensas por um fio de seda sob influência de algo que estivesse eletrizado, podiam se aproximar (atração) ou se afastar (repulsão). Conforme o movimento dessas folhas, inferia-se sobre a eletricidade do objeto de estudo que foi aproximado ou conectado ao eletrômetro. Também era necessário produzir os *fluidos elétricos* de alguma forma para serem estudados. Surgiram, então, aparatos com essa finalidade, como as chamadas máquinas elétricas cilíndricas e de placas, que produziam por atrito os *fluidos elétricos* de interesse (DANIELL, 1843).

Além do comportamento desses *fluidos*, buscou-se compreender como ocorria a interação dos mesmos com os corpos constituídos por diferentes materiais, ou seja, a questão da condução ou não condução de eletricidade pelos materiais. Particular interesse recaía sobre a condução em materiais metálicos. Nesse contexto, destacam-se os trabalhos de William Snow Harris (1791-1867), que exerceram importante influência para a construção da pilha de Daniell.

Snow Harris nasceu em 1º. de abril de 1791 em Plymouth, Inglaterra. Após concluir seus estudos de medicina em Edimburgo, trabalhou como cirurgião militar no exército britânico. Trabalhou de forma contínua para a Marinha Real Britânica, desenvolvendo e melhorando para-raios para embarcações (DANIELL, 1843). Seus estudos sobre para-raios para proteção dos navios ingleses se prolongaram por muito tempo; porém, suas ideias sofreram grande resistência, pois foram necessários cerca de 12 anos para que a marinha reconhecesse e remunerasse esse trabalho (ANÔNIMO, 1868, p. xx-xxi). Após conciliar por alguns anos a medicina e os estudos em eletricidade, em 1824 Snow Harris passou a se dedicar integralmente à filosofia natural. Por muitos anos, foi membro da *Edinburgh Royal Society*.

A primeira publicação de Snow Harris em *Proceedings of the Edinburgh Royal Society* data de 1829: “*Experimental Investigations about magnetic forces laws*”

[Investigações experimentais acerca das leis das forças magnéticas]. Os estudos e dispositivos inventados por Snow Harris para investigar a eletricidade chamaram a atenção do presidente da *Royal Society*, Sir Humphry Davy, que o convidou para uma conferência. Snow Harris apresentou o trabalho “Sobre os poderes relativos de várias substâncias metálicas como condutores de eletricidade”. Depois disso, se tornou membro da *Royal Society*. Foi agraciado com a *Medalha Copley* por suas contribuições à compreensão dos fenômenos relacionados a eletricidade de alta tensão (TOMLINSON, 2019). Snow Harris faleceu em janeiro de 1867, na mesma localidade em que nasceu.

Snow Harris estudou as relações entre magnetismo e eletricidade, e criou máquinas elétricas cilíndricas e de placas que foram extremamente úteis para o estudo dos *fluidos elétricos* na Inglaterra. Seus trabalhos exerceram grande influência sobre as escolhas de Daniell em relação aos materiais metálicos da pilha. Utilizando um dispositivo chamado termômetro de ar (construído por ele mesmo), estudou como diferentes materiais metálicos se comportavam e produziam calor diante da passagem de *fluidos elétricos* (Figura 12). Seus dados experimentais foram apresentados por Daniell em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, e certamente influenciaram a escolha final do par zinco e cobre para a construção da bateria constante. Antes de chegar a isso, Daniell fez muitos experimentos com diferentes pares de metais, e por muito tempo utilizou os pares zinco e platina ou zinco e prata.

**TABLE XXXVIII. *Electrical Conduction.***

	Heat evolved.	Resistance.
Silver	6	1
Copper	6	1
Gold	9	1½
Zinc	18	3
Platinum	30	5
Iron	30	5
Tin	36	6
Lead	72	12
Brass	18	3

**Figura 12:** Dados experimentais de Snow Harris sobre o comportamento de diferentes materiais metálicos.

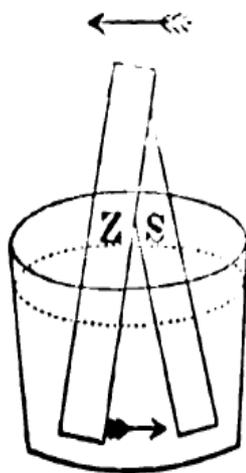
**FONTE:** Daniell (1843).

O trabalho de Snow Harris foi pioneiro e trouxe importantes contribuições para outros estudos da área. Os dados experimentais apresentados na Figura 12 mostram diferentes

materiais tratados da mesma forma: o latão é uma liga metálica (cobre e zinco), e aparece junto a metais puros. A propriedade intensiva que Snow Harris estava medindo, identificada na Figura 12 como *resistance*, é o que chamamos hoje de resistividade – ou seja, a oposição que um material oferece à passagem de corrente elétrica<sup>4</sup>.

Daniell, que começara seus estudos sobre eletricidade reproduzindo experimentos de Faraday, adquiriu independência ao perceber uma lacuna em relação aos dispositivos existentes até então para produzir e transmitir eletricidade. Em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, após fazer o apanhado histórico das ideias sobre eletricidade, discute as ideias de seus contemporâneos e chega à então importante questão das pilhas. Sua abordagem para essa questão constitui nosso principal objeto de pesquisa.

Assim, foi aumentando a complexidade em suas descrições e relatos a respeito das ideias sobre eletricidade, também o fez ao abordar diferentes circuitos. Os primeiros a serem apresentados são os menos complexos (Figura 13).

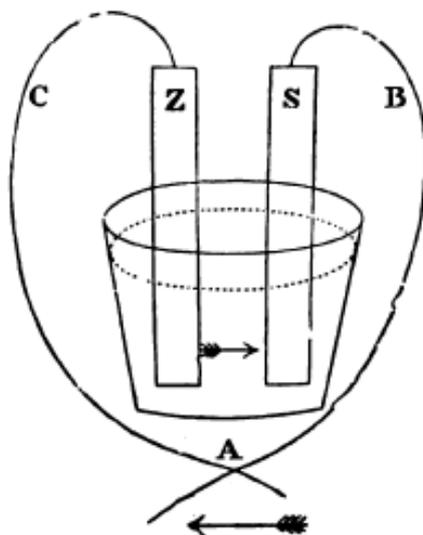


**Figura 13:** Circuito simples. As flechas indicam o caminho da “força de afinidade”. As placas metálicas em questão são compostas por zinco (*zinc = z*) e prata (*silver = s*). Ou seja, a *força circulante* migra do zinco (*generating cell*) para a prata (*conducting cell*), e em seguida da prata para o zinco. **FONTE:** Daniell (1843).

---

<sup>4</sup> Snow Harris utilizou unidades arbitrárias para a resistividade. No Sistema Internacional (SI) utilizado atualmente, a unidade para resistividade é o  $\Omega \cdot m$  (ohm vezes metro). Quanto menor o valor da resistividade de um material, melhor a condução de corrente elétrica pelo mesmo. Snow Harris mostrou precisão em suas medições, pois a prata é o material metálico com menor resistividade que se tem conhecimento ( $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ ), seguida pelo cobre ( $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ ) e pelo ouro ( $2,4 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ ). É importante distinguir resistividade de resistência (R). A resistência se refere à oposição à passagem de corrente em um circuito e pode ser descrita pela lei de Ohm ( $V = R \cdot i$ ). Essas grandezas são importantes para a determinação de qual é o material mais adequado para ser utilizado em situações distintas, como em circuitos eletrônicos ou instalações elétricas prediais e industriais.

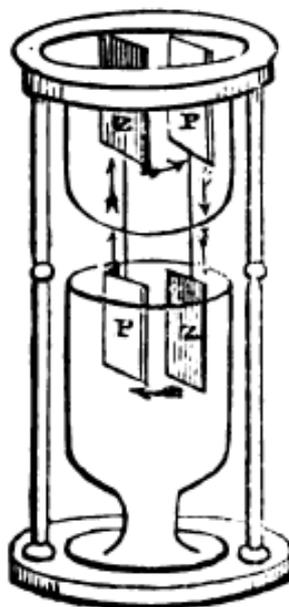
As primeiras observações sobre placas metálicas submersas em líquidos específicos levaram à conclusão de que não era necessário que os metais estivessem em contato direto: bastava que alguma conexão fosse estabelecida entre as placas para que se notasse a condução de eletricidade. Tal evidência era posta à luz com o auxílio de um galvanômetro, ou mesmo de um eletrômetro de folhas de ouro. A conexão poderia ser feita por meio de fios, sendo que as placas metálicas poderiam ser apenas um par, ou mais de um (Figuras 14 e 15). Em qualquer dos casos, a conexão deveria ser estabelecida para que o circuito fosse fechado e assim a “força circulante” pudesse entrar em ação.



**Figura 14:** Circuito simples com fio condutor. **FONTE:** Daniell (1843).

A designação utilizada – “circuito” – para se referir aos arranjos voltaicos implica em concepções sobre o comportamento dos *fluidos elétricos* nesses sistemas. O movimento dos *fluidos* teria uma trajetória muito bem definida, com um ponto inicial e final:

Temos agora que considerar como o **impulso que é derivado do zinco** é transmitido através do líquido até a platina. A **força gerada** é comumente descrita como uma corrente, como a de algum fluido imponderável, fluindo do zinco através do líquido até a platina, e de volta através do fio até o zinco. A corrente pode ser concebida facilmente como sendo constituída por uma **sucessão de impulsos**, comunicados à distância através de condutores apropriados, como em uma geração perpétua de um fluido. Assim, por outro lado, as vibrações de um corpo elástico podem ser consideradas como uma corrente de força mecânica (DANIELL, 1843, p. 471-472, grifos nossos).



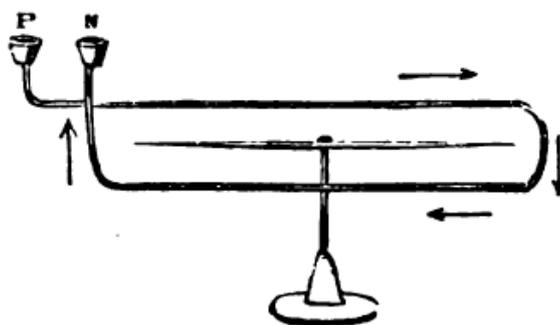
**Figura 15:** Circuito no qual as placas metálicas se encontram em dois recipientes e se conectam por fios. Aqui, os eletrodos são formados por zinco (*zinc* = z) e platina (*platinum* = p). Novamente, as flechas indicam a trajetória da força de corrente e para isso ocorrer é necessário que as placas metálicas estejam intercaladas.  
**FONTE:** Daniell (1843).

Estava claro para Daniell que a composição dos materiais constituintes dos circuitos era um fator essencial para seu funcionamento. Portanto, para além da existência dos *fluidos elétricos*, havia outras elaborações teóricas que deveriam justificar esse comportamento. Durante um longo tempo, houve debates sobre a natureza da eletricidade, como o conhecido entre Alessandro Volta (1745-1827) e Luigi Galvani (1737-1798). Para Volta, o fator essencial para a geração de eletricidade era o contato entre metais dissimilares, e para Galvani era a “eletricidade animal”, ou seja, os organismos carregavam consigo essa propriedade (MARTINS, 1999). Os aspectos químicos se mostraram essenciais para embasar teoricamente os estudos sobre as pilhas voltaicas, entre eles a composição dos eletrodos, que seria responsável pela ação voltaica de todo e qualquer circuito (DANIELL, 1843).

A afinidade química promoveria a “força de corrente”, e nos circuitos sempre haveria o contraponto da afinidade oposta. Quando a ação química se iniciava, o declínio da atividade do eletrólito, o consumo de um eletrodo, a resistência à passagem de corrente pelo meio líquido ou pelos próprios eletrodos, seriam decorrentes da afinidade oposta. Assim, o que fazia qualquer arranjo voltaico funcionar eram as afinidades circulantes. A afinidade química e a afinidade oposta eram chamadas de afinidades concorrentes: para que os *fluidos elétricos*

percorressem satisfatoriamente uma bateria, a afinidade química deveria se sobrepor à afinidade oposta.

O uso de determinados dispositivos também foi importante para o avanço dos estudos sobre as pilhas. Destaca-se o uso do galvanômetro<sup>5</sup> (Figura 16), utilizado para detectar uma corrente, e também do voltâmetro<sup>6</sup> (Figura 17), com o qual foi possível não só identificar as afinidades químicas que produziam correntes, mas também mensurar a corrente elétrica.



**Figura 16:** Galvanômetro. As letras P e N indicam os terminais positivo e negativo, respectivamente.

**FONTE:** Daniell (1843).

O galvanômetro era constituído por uma agulha magnética apoiada sobre um ponto, circundada por uma bobina com dois terminais, e muitas vezes compunha o elemento final de um circuito. Quando era colocado entre os eletrodos de um circuito, por exemplo, através da deflexão de sua agulha (medida em graus), inferia-se a intensidade da corrente. Logo, quanto maior a deflexão da agulha, mais intensa seria a corrente pelo circuito. Porém, por mais eficaz que fosse o galvanômetro, essa era uma medida de caráter qualitativo. Por isso, o desenvolvimento do voltâmetro se mostrou importante, pois possibilitou mensurar, de forma quantitativa e precisa, a corrente elétrica, ainda que fosse uma medida indireta.

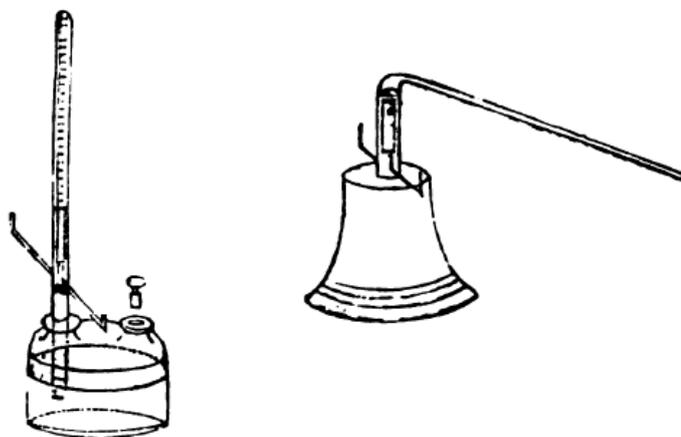
No caso do voltâmetro, quando o circuito era fechado, estando os eletrodos em contato com o eletrólito (solução aquosa de ácido sulfúrico diluído), imediatamente uma reação de

---

<sup>5</sup> O princípio de funcionamento do galvanômetro foi resultado principalmente de estudos experimentais do físico dinamarquês Hans Christian Ørsted (1777-1851), que em 1820 observou haver relação entre magnetismo e eletricidade: correntes elétricas são capazes de gerar campos magnéticos, o que anos mais tarde seria matematizado por James Clerk Maxwell (1831-1879).

<sup>6</sup> O dispositivo aqui descrito como voltâmetro não deve ser confundido com o que conhecemos hoje como voltímetro, utilizado para mensurar diferença de potencial elétrico. O nome “*voltmeter*”, usado por Daniell, pode ser entendido como uma abreviação de “*volta-electrometer*”, ou seja, eletrômetro de Volta. Esse dispositivo foi criado por Faraday para mensurar correntes elétricas, recolhendo os gases produzidos na eletrólise de uma solução aquosa: o volume de gás produzido é diretamente proporcional à corrente elétrica que atravessa o circuito.

eletrólise da água se iniciava: os gases eram coletados e seu volume era medido em um tubo de vidro graduado. Inferia-se que, quanto maior a quantidade de gás coletado, maior a corrente produzida pela pilha acoplada a ele.

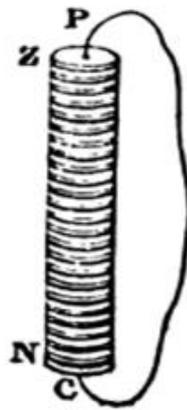


**Figura 17:** Voltâmetros utilizados para mensurar corrente elétrica. **FONTE:** Daniell (1843, p. 500).

Os elementos essenciais necessários à produção de corrente elétrica por uma pilha eram os componentes metálicos em contato com um meio condutor (eletrólito)<sup>7</sup>, e os fios ou o dispositivo (por vezes o galvanômetro) que fechasse o circuito. A pilha de Volta (Figura 18) foi um dispositivo pioneiro na produção de corrente elétrica contínua. O dispositivo original construído pelo estudioso italiano era, literalmente, uma pilha de discos de zinco e prata intercalados (DANIELL, 1843, p. 501). Entre cada par metálico era colocado um disco de tecido ou papelão embebido em uma mistura de ácidos fortes (ácido nítrico e sulfúrico). A ação dos ácidos sobre os discos de zinco levava a sua corrosão e a pilha não funcionava por mais do que alguns minutos.

---

<sup>7</sup>A palavra eletrólito originalmente se refere àquilo que provoca eletrólise, ou seja, a força de decomposição química que, associada ao meio experimental, provocaria as separações químicas. Faraday utilizou pela primeira vez o termo, e Daniell se referiu a *eletrólito* várias vezes em seu livro. Essa palavra sofreu ressignificação e atualmente os eletrólitos são os meios pelos quais ocorre a passagem de corrente elétrica em solução ou no estado fundido, por sofrerem dissociação iônica. Existem diferentes grandezas e forças físico-químicas que influenciam a ação dos eletrólitos, como o grau de dissociação da espécie química dissolvida no meio, a força eletrolítica e o coeficiente de atividade das espécies iônicas. No contexto atual da eletroquímica, não é o eletrólito em si que provoca a condução de corrente nem a eletrólise.

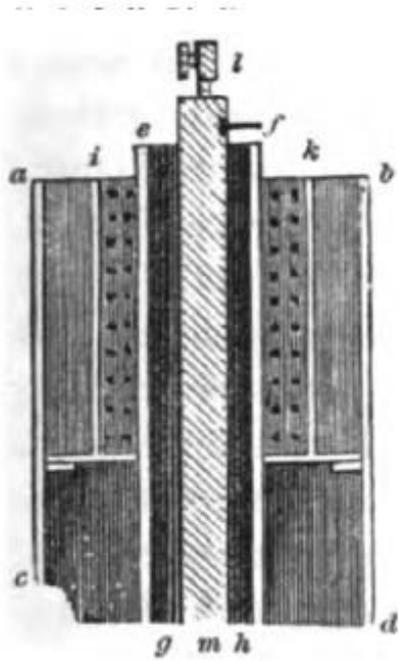


**Figura 18:** Pilha de Volta, constituída por discos de zinco e prata alternados, intercalados por discos de papelão embebidos em solução ácida. **FONTE:** Daniell (1834).

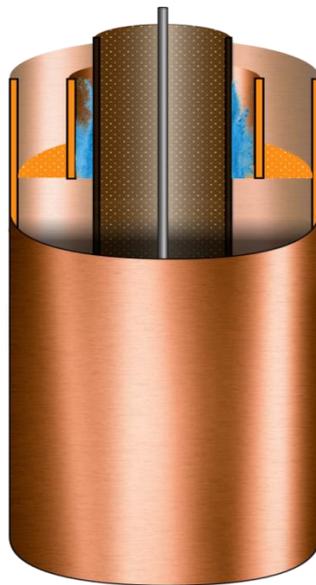
Considerando essas limitações, Daniell procurou formas de superá-las. Promoveu mudanças no eletrólito, diluindo-o em relação ao eletrólito da pilha de Volta. Esse eletrólito foi colocado em contato com a superfície metálica considerada “geradora” (ou seja, o metal mais reativo do par utilizado na pilha), enquanto uma solução saturada de sulfato de cobre foi utilizada como eletrólito em contato com o outro metal (no caso, cobre), moldado de forma a constituir um cilindro externo ao arranjo. Em seu arranjo mais elaborado, o cilindro interno, contendo o eletrólito diluído, era feito de argila, o que permitia o contato entre os eletrólitos mas também impedia que estes se misturassem rapidamente. A pilha de Daniell não apresentava as inconstâncias de funcionamento que caracterizavam a pilha de Volta, e por isso seu inventor a designou como *bateria*<sup>8</sup> *constante* (Figuras 19 e 20).

---

<sup>8</sup> Em geral, o termo “bateria” era usado para se referir a uma associação de várias “células” – que era como Daniell chamava cada dispositivo individual. Para facilitar o entendimento pelo leitor atual, nesta dissertação foram utilizados os termos “célula” e “pilha” como sinônimos, e “bateria” no sentido utilizado por Daniell, de associação de pilhas. No uso atual em língua inglesa, a palavra *battery* pode designar tanto uma pilha quanto uma bateria. Em português, bateria se refere a uma associação de pilhas em série ou em paralelo.

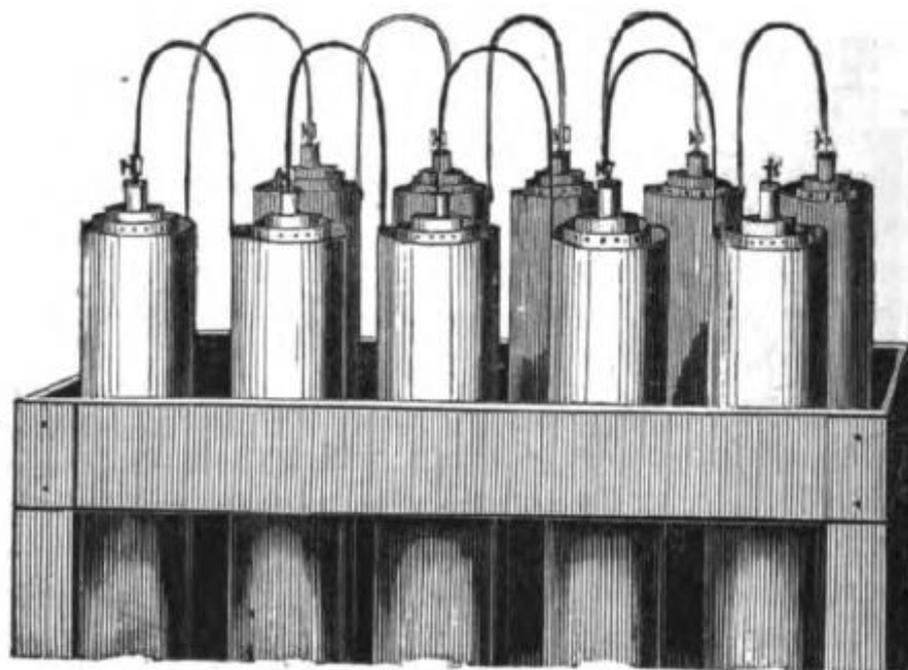


**Figura 19:** Bateria constante de Daniell. *lm* é uma haste de zinco amalgamado com mercúrio; *abcd* é um cilindro de cobre que contém todo o arranjo voltaico; *efgh* é um cilindro poroso de argila. O cilindro externo é preenchido com uma solução de sulfato de cobre saturada, e o cilindro interno com uma solução diluída de ácido sulfúrico. No recipiente perfurado *ik* é colocado sulfato de cobre sólido, para manter a solução no cilindro externo saturada. **FONTE:** Daniell (1843).

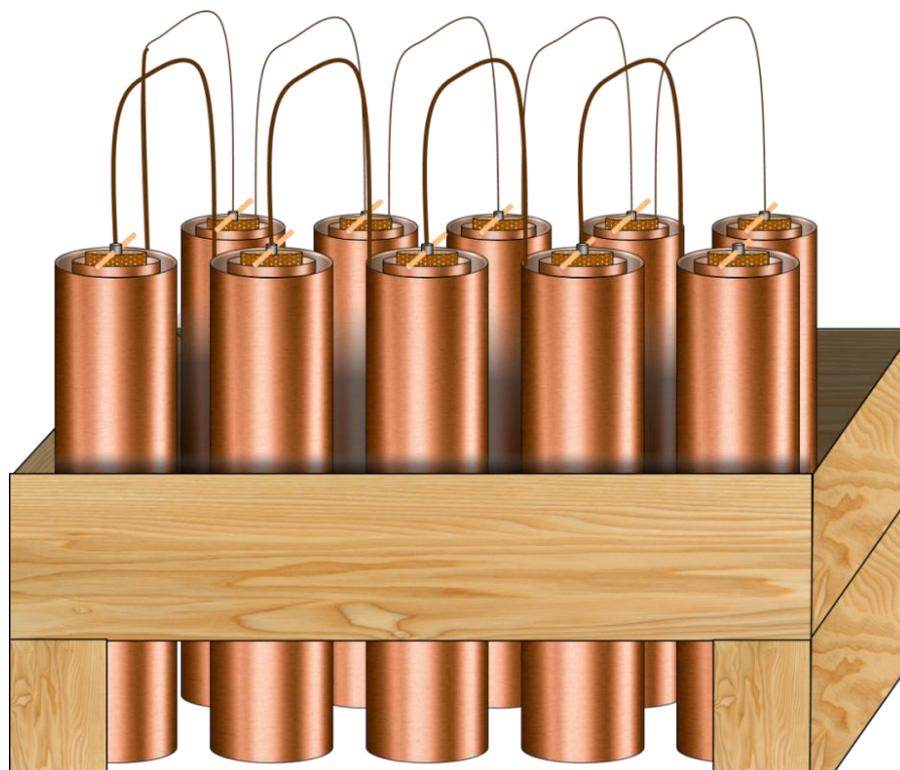


**Figura 20:** Bateria constante de Daniell. Representação em cores elaborada a partir da gravura da construção original da pilha. No centro há uma haste de zinco amalgamado com mercúrio, circundado por um cilindro que tem uma parede porosa de argila. Entre esse cilindro que abriga a haste de zinco e o cilindro mais externo há um recipiente perfurado que contém sulfato de cobre sólido, que vai se dissolvendo progressivamente no eletrólito, mantendo-o saturado. **FONTE:** Autora (2019). Crédito da imagem: Gustavo Sérgio dos Santos.

O diferencial aqui foram as partes constituintes e o arranjo experimental com que esse dispositivo foi pensado e materializado. Daniell descreve que foi possível realizar associações de 5, 10, 20 e até 70 células (Figuras 21 e 22), produzindo correntes elétricas por longos períodos de tempo. Após testar variadas combinações de eletrólito e eletrodos, otimizando seu funcionamento, a bateria constante foi utilizada por Daniell em estudos sobre eletrólise. Esse dispositivo tornou-se uma ferramenta de laboratório de vários pesquisadores ingleses interessados em eletricidade, ou que precisavam de uma fonte de corrente contínua para fins específicos (OWEN, 2001).



**Figura 21:** Associação de dez pilhas. **FONTE:** Daniell (1843).



**Figura 22:** Associação de dez pilhas. **FONTE:** Autora (2019). Crédito da imagem: Gustavo Sérgio dos Santos.

A narrativa produzida por Daniell em seu livro não revela todo o processo de investigação que o conduziu à otimização da pilha e ao estudo de suas propriedades. Porém, é possível obter mais detalhes desse processo analisando as comunicações em que apresentou à *Royal Society* suas pesquisas sobre o que chamou de “combinações voltaicas”. É o que se apresenta na seção a seguir.

### **3.2.2 *On voltaic combinations: correspondências a Michael Faraday***

Como dito anteriormente, essas comunicações foram publicadas nas *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, atualmente disponíveis para acesso *on line*, e contêm detalhes relevantes que não constam do livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy* (1839). Enquanto o livro é mais abrangente em seu conteúdo, as comunicações expõem diversos detalhes do processo de criação dos dispositivos que Daniell estava desenvolvendo.

**3.2.2.1 X. *On voltaic combinations. In a letter adressed to Michael Faraday. D. C. L., F. R. S., Fullarian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F. R. S., Prof. Chem. in King’s College, London (1836a).***

Nessa comunicação, Daniell relata que foi levado a experimentar novas combinações voltaicas, em função de necessidades técnicas, sendo que se refere principalmente aos metais que compõem os eletrodos. Aqui, ainda utiliza o par zinco e platina em sua pilha – não havendo, nesse momento, chegada à escolha do par zinco e cobre, que viria a descrever como a combinação final nas duas edições de seu livro (DANIELL, 1836a; DANIELL, 1839).

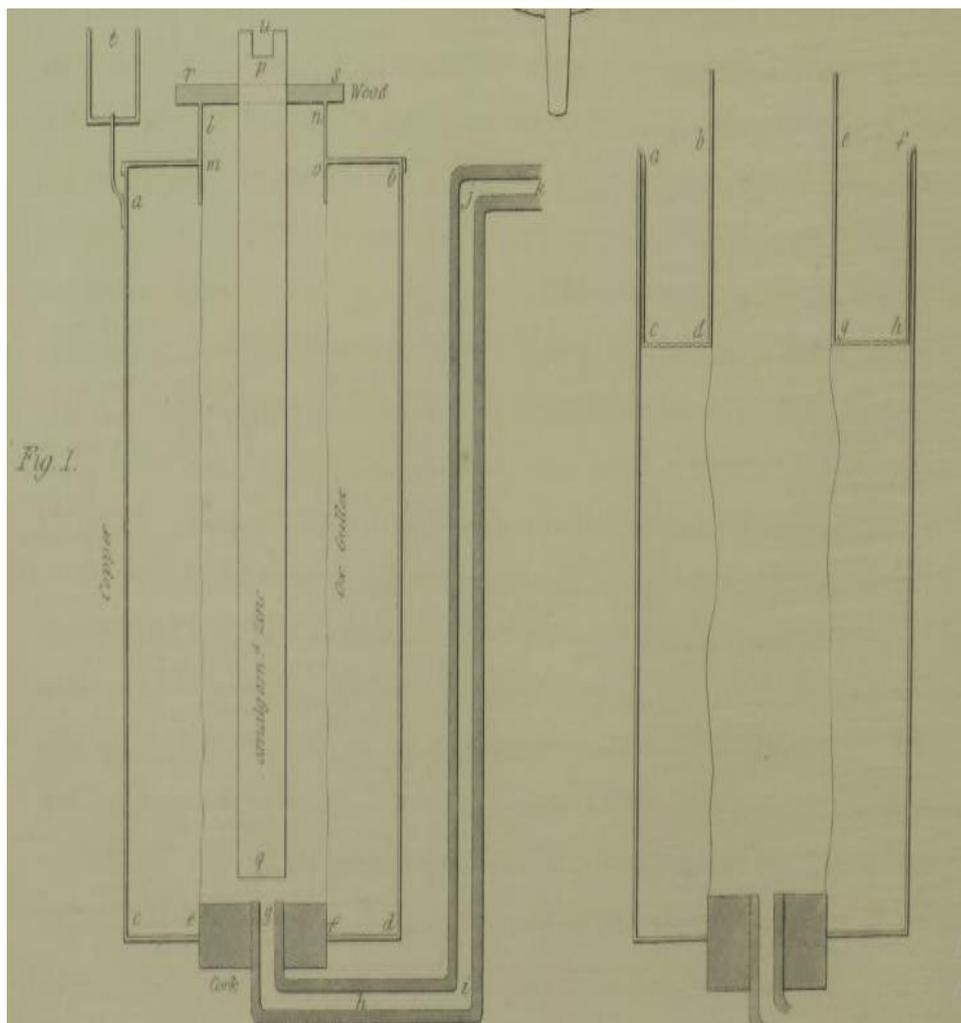
Em seus primeiros estudos sobre circuitos simples, observou a rápida adesão de gás hidrogênio sobre as placas de zinco que eram submergidas em eletrólitos de ácidos fortes, o que, segundo ele, impedia a circulação da *força de corrente*. Conseguiu evitar esse problema utilizando um amálgama de zinco e mercúrio como metal gerador<sup>9</sup> – uma alternativa que se mostrou economicamente viável.

A pilha foi montada colocando a haste de zinco amalgamado no centro, sustentada em seu topo por uma haste de madeira e circundada por uma membrana obtida do tecido de esôfago de boi. A função dessa membrana era separar os eletrólitos em que os dois metais componentes da pilha estavam imersos. Posteriormente, nas duas edições de *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, um recipiente poroso de barro (*porous earthenware*) substituiu a membrana de boi. Essa mudança foi necessária para que fosse investigada a ação das combinações voltaicas a altas temperaturas (as quais a membrana de origem animal não suportava), utilizando sua bateria constante.

A comunicação inclui um desenho do dispositivo descrito (Figura 23), no qual é possível notar diferenças estruturais em relação à célula constante ilustrada na edição de 1843. Nesta última, nota-se que a célula constante é construída com uma haste de zinco amalgamado com mercúrio de 3,5 polegadas de diâmetro, dentro de um cilindro de cobre de 6 polegadas de diâmetro. A eficácia dessa configuração, na qual o metal gerador ficava circundado pelo metal condutor, foi observada experimentalmente (DANIELL, 1836a).

---

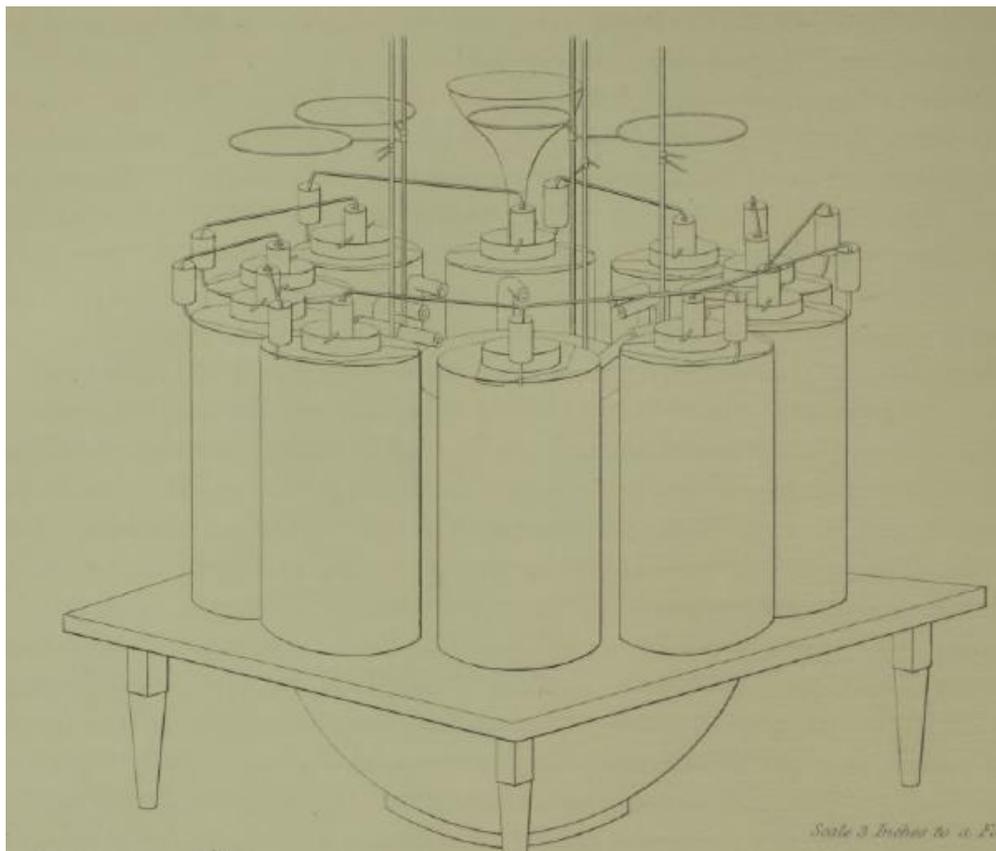
<sup>9</sup> Daniell se referia ao eletrodo central como metal gerador por ser considerado o responsável por *gerar* a força de afinidade.



**Figura 23:** Esquema da bateria constante descrita em *On voltaic combinations*. **FONTE:** Daniell (1836a).

Pode-se observar, na Figura 23, que abaixo da haste de zinco há um sifão (g, h, i, j) que comunica o compartimento interno com o meio exterior, e ainda um compartimento t (no alto, à esquerda da figura), descrito como *mercury cup*. Por meio desse copo de mercúrio era possível ligar essa célula a outras, como mostra a Figura 24. O sifão retira o líquido do cilindro interno à medida que mais porções de líquido são despejadas por um funil exterior, para manter a concentração do eletrólito.

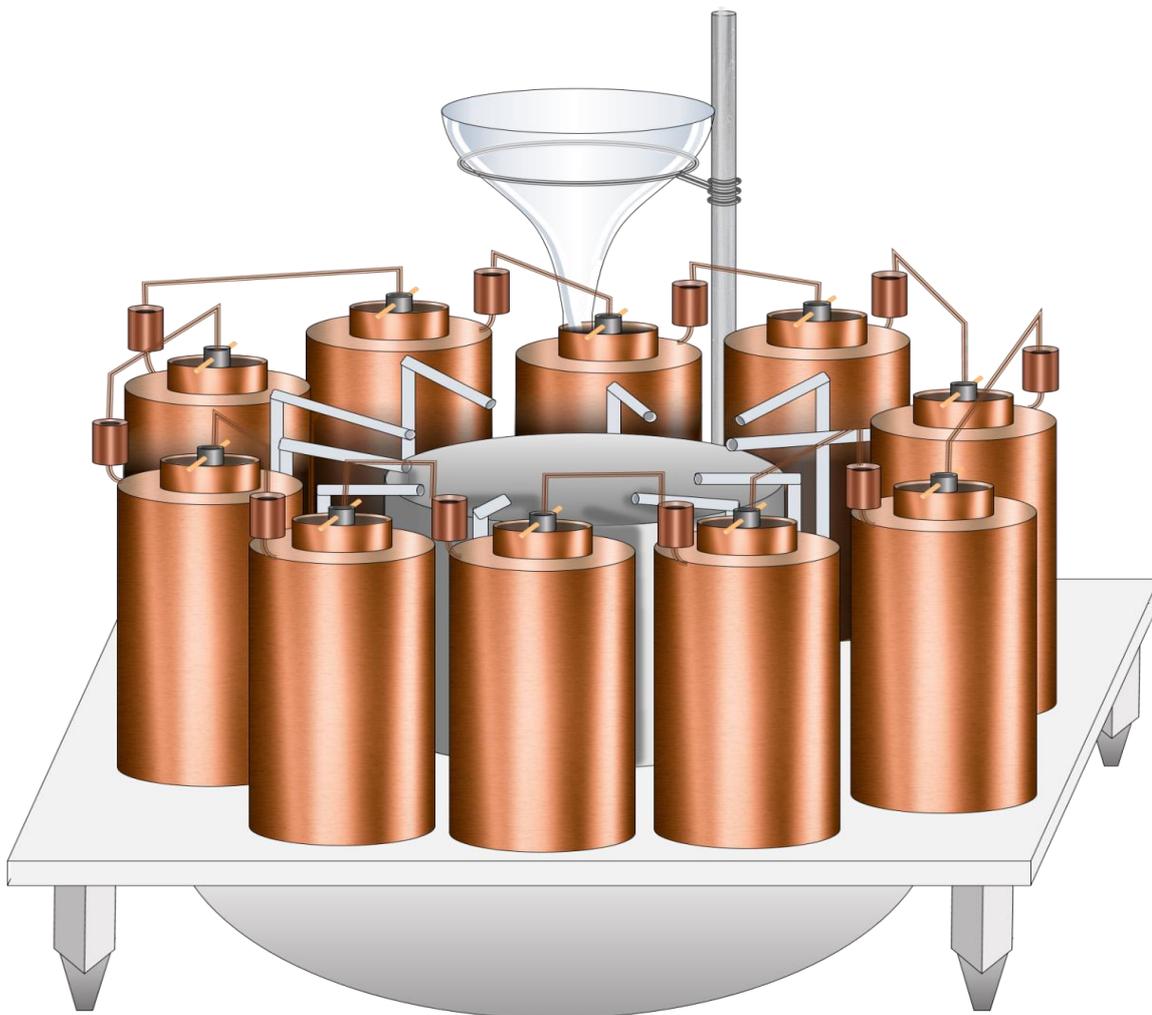
Nem o copo de mercúrio nem o sifão aparecem nos dispositivos descritos em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, pois o dispositivo aperfeiçoado não necessitava desses componentes. No livro, uma associação de dez pilhas foi feita apenas com fios metálicos, tendo sido retirado o compartimento de mercúrio das baterias. Além disso, para manter saturado o eletrólito no cilindro externo, foram inseridos saquinhos de musselina – um tecido parecido com algodão – contendo um sal sólido de cobre, que era vagarosamente liberado para o eletrólito.



**Figura 24:** Associação de dez pilhas. **FONTE:** Daniell (1836a).

Em sua comunicação intitulada *On voltaic combinations* [Sobre as combinações voltaicas], Daniell relata experimentos usando como eletrólito o ácido nítrico, misturado no cilindro externo com a solução saturada de sulfato de cobre. Descreve também a realização de experimentos com diferentes concentrações de ácido no cilindro interno da pilha, concluindo ser a solução mais diluída (8 partes de água para 1 de ácido sulfúrico) a mais adequada. Com essa proporção, o consumo do zinco era mais lento do que com as soluções mais concentradas (ou mais “fortes”, na terminologia usada originalmente), permitindo que a bateria funcionasse por mais tempo.

As Figuras 24 e 25 mostram uma associação de dez pilhas, apoiada sobre uma mesa sob a qual há uma bacia para receber o eletrólito que transborda pelos sifões (DANIELL, 1836a).



**Figura 25:** Ilustração colorida mostrando os detalhes da associação de dez pilhas. **FONTE:** Autora (2019).  
Crédito da imagem: Gustavo Sérgio dos Santos.

Daniell avaliava a eficiência dos diferentes arranjos experimentais com o auxílio de um voltômetro, medindo a correspondente formação de gás hidrogênio devida ao funcionamento das baterias. Como dito anteriormente, quanto mais intensa a corrente produzida, maior seria o volume de gás recolhido no tubo de vidro graduado do voltômetro. Além disso, após a ação das baterias se esgotar, ele retirava as hastes de zinco e as pesava. Comparando o consumo da haste de zinco com a corrente produzida (medida com o voltômetro), era possível inferir qual a combinação mais eficiente.

A análise das ilustrações apresentadas nessa comunicação revela a inserção de posteriores mudanças estruturais nas baterias descritas em outras publicações. Isso significa que, conforme Daniell foi implementando diferentes modificações na bateria constante em

seu laboratório, elas foram sendo incorporadas aos dispositivos mais recentes. Ao final de sua comunicação, concluiu:

Meu principal objetivo com essas pesquisas tem sido atingir essa constância [da corrente], mas acrescento que novas combinações foram encontradas. Primeiro, o fim de toda a ação local empregando o zinco amalgamado. Segundo, o insignificante custo de repor as hastes de zinco depois de desgastadas. Terceiro, a não necessidade de se empregar ácido nítrico; e quarto, a facilidade e perfeição com que todas as comunicações metálicas podem ser feitas, e diferentes combinações dos arranjos das placas (DANIELL, 1836a, p. 124).

Procurando a mencionada “constância”, Daniell percebeu experimentalmente que outros fatores poderiam influenciar a obtenção de eletricidade. Isso foi relatado em comunicações posteriores, conforme se mostra a seguir.

***3.2.2.2 Additional observations on voltaic combinations. In a letter addressed to Michael Faraday. D. C. L., F. R. S., Fullarian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F. R. S., Prof. Chem. in King’s College, London (1836b).***

Nessa comunicação, também datada de 1836, são relatadas variáveis que mostraram ter influência sobre o rendimento da bateria, permitindo melhorá-la. A meta era a obtenção “de uma corrente invariável de força suficiente para efetuar decomposições químicas” (DANIELL, 1836b, p. 125). Há relatos de operação da bateria por períodos de 15, 20 e 24 horas ininterruptas, com pequena diminuição de sua ação, enquanto na comunicação anterior foi descrita a operação do dispositivo por até 8 horas. Daniell descreveu experimentos em que investigou a influência da distância entre as superfícies geradora e condutora e a extensão dos fios que conectavam uma célula a outra. Esses aspectos não haviam sido objeto de estudo anterior, pois o seu foco havia sido a ação do eletrólito. Além disso, apresentou experimentos que fez buscando otimizar o funcionamento do voltâmetro criado por Faraday, o qual era o principal instrumento utilizado para quantificar e comparar o desempenho de diferentes pilhas (DANIELL, 1836b, p. 125-126).

Relatou um novo arranjo experimental no qual não utilizou um funil, destinado à adição constante de ácido para renovação do eletrólito em contato com a haste de zinco. Isso porque ele percebeu que era suficiente uma adição ocasional da solução ácida para manter a

ação da bateria de maneira satisfatória, e assim o arranjo experimental ficou mais simples e mais prático (DANIELL, 1836b). O texto deixa claro que os objetivos eram aumentar o tempo de funcionamento das baterias, sem perda muito grande de sua ação, bem como aumentar a intensidade da corrente produzida.

Há observações cuidadosas com relação à construção dos elementos da bateria constante, variando tamanhos e formas dos componentes em busca do melhor arranjo. Esses experimentos o levaram a fazer algumas considerações teóricas sobre como seria a pilha ideal:

Considerando um ponto de vista teórico, esses experimentos me parecem levar à conclusão de que a combinação voltaica mais perfeita consistiria em uma esfera sólida de um metal gerador, cercada por uma esfera oca de um metal condutor, com um estrato de eletrólito intermediário perpetuamente renovado e os metais se comunicando por um fio protegido do eletrólito por um tubo de vidro que cobriria a porção que necessariamente passaria através dele (DANIELL, 1836b, p. 128).

Daniell reconheceu a impossibilidade de concretizar a pilha idealizada, e concluiu: “O bastão de zinco dentro do cilindro de cobre é, provavelmente, a melhor aproximação prática que se pode fazer para esse arranjo (...)” (DANIELL, 1836b, p. 128). Em outro experimento, em vez de utilizar o voltômetro, conectou uma bateria de vinte células a um fino fio de platina de oito polegadas de comprimento, e este se aqueceu ao rubro (ficou incandescente) e assim permaneceu por um longo período de tempo (DANIELL, 1836b). Isso evidenciava a produção de corrente de forma intensa, pois a produção de calor era associada à produção de corrente. Assim, além de fazer mudanças relacionadas à construção da bateria, havia interesse também em alterar o modo de fazer as observações experimentais. Daniell também sugeriu que a ação dessa bateria faria dela uma fonte econômica de oxigênio (por eletrólise de soluções aquosas) para uso em laboratório, destacando portanto um exemplo de sua utilidade prática.

Explorou o potencial da bateria constante tanto como um objeto de pesquisa em si mesmo quanto como um dispositivo para subsidiar outras pesquisas. Investigou diversos aspectos: os constituintes químicos, a construção física (como o tamanho e a distância entre os eletrodos) e a influência de outras grandezas sobre o dispositivo. Na comunicação a seguir, outra variável experimental é destacada em relação ao funcionamento da bateria: a temperatura.

**3.2.2.3. Further observations on voltaic combinations. In a letter addressed to Michael Faraday. Esq. D. C. L., F. R. S., Fullerian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. Frederic Daniell, F. R. S., Prof. Chem. in King's College, London, &c. (1837)**

A discussão central dessa comunicação é a influência da temperatura sobre os efeitos da ação voltaica (DANIELL, 1837). Foi nessa comunicação que se consolidou a versão final dos eletrólitos para a construção da célula: ácido sulfúrico diluído para o cilindro interno e solução saturada de sulfato de cobre em ácido sulfúrico diluído para o cilindro externo.

Em um dos experimentos, a temperatura do sistema quando as células foram inicialmente carregadas era cerca de 110°F (43°C) e um voltâmetro foi utilizado para monitorar a ação da bateria em intervalos de tempo determinados, à medida que ela esfriava. Em seguida, Daniell colocou a bateria, inicialmente a 68°F (20°C), em um banho de água quente a 130°F (54°C). Em ambos experimentos, observou que a ação da bateria era mais intensa a temperaturas mais altas (DANIELL, 1837). A Figura 26 mostra dados experimentais dos procedimentos descritos na comunicação.

Time.	Interval.	Voltameter.	5 min. rate.
h m	,	Cubic inches.	Cubic inches.
12 52			
12 54	2	8·8	22·
12 59			
12 61	2	8·	20·
1 3			
1 5	2	7·3	18·2
1 7			
1 9	2	7·	17·5
1 11			
1 13	2	6·5	16·2
1 14			
1 16	2	6·	15·
1 17			
1 19	2	5·7	14·2
1 21	2	4·8	12·

**Figura 26:** Dados experimentais obtidos por Daniell em estudos sobre temperatura e ação voltaica. Embora não fosse medida a temperatura em cada intervalo, pode-se observar que o volume de gás recolhido no voltâmetro era maior a temperaturas mais altas, ou seja, a ação da pilha foi diminuindo à medida que resfriava.

**FONTE:** Daniell (1837).

Porém, diante de um inconveniente, o experimento foi interrompido: “O experimento foi terminado pelo rompimento de todas as membranas que haviam sido expostas por cinco semanas à solução ácida” (DANIELL, 1837, p. 124). Iniciou, então, uma série de tentativas para substituir o material membranoso de origem animal por algum outro que suportasse as condições experimentais. Sua escolha final recaiu sobre uma louça porosa de barro, que passou a ser sempre utilizada, mesmo sob temperatura ambiente e condições regulares de operação da bateria constante. Posteriormente, em *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, Daniell descreveu o uso desse material para a construção da pilha, sem entretanto mencionar a origem dessa escolha.

Nos estudos sobre a influência da temperatura, diferentes procedimentos foram feitos: aquecimento das células como um todo, colocando-as em um banho de água aquecido; ou preenchimento das células com os eletrólitos aquecidos. Alterava-se o eletrólito e a temperatura, somente a temperatura de um mesmo eletrólito ou ainda somente o eletrólito à mesma temperatura. No cilindro interno, o eletrólito utilizado era ácido sulfúrico diluído. No cilindro externo, Daniell experimentou diferentes substâncias, como amônia, barita, sulfato de amônia, potassa e ácido muriático (clorídrico), bem como a mistura considerada como sendo o melhor eletrólito, uma solução ácida de sulfato de cobre (DANIELL, 1837).

Também fez observações a respeito da formação de precipitados sobre os metais gerador e condutor. Observou a formação de cristais de sulfato de zinco sobre o bastão de zinco e de um depósito de natureza desconhecida sobre o cobre, o qual disse ser merecedor de estudos posteriores. Ao substituir o eletrólito em contato com o bastão de zinco por uma solução de sal comum (cloreto de sódio), ou ainda acidulando essa solução com ácido muriático (ácido clorídrico), observou que a ação da bateria era menor do que com a solução de ácido sulfúrico – concluindo não haver vantagem nessa substituição. É possível notar que, conforme os estudos prosseguiam, aumentavam a complexidade e o número de variáveis.

Outro objeto de pesquisa relatado nessa comunicação se refere à direção da corrente elétrica, a partir da observação do galvanômetro. Alterando as conexões entre a bateria e o galvanômetro, a direção da deflexão da agulha também mudava (DANIELL, 1837). Além de se aprofundar nos aspectos químicos dos experimentos, Daniell nunca deixou de investigar os aspectos físicos associados, tendo Faraday como grande inspiração. Além disso, os aspectos estruturais da construção da pilha continuaram a ser estudados, como mostra a próxima comunicação.

**3.2.2.4 *Fifth letter on voltaic combinations, with some account of the effects of a large constant battery. Addressed to Michael Faraday. Esq. D. C. L., F. R. S., Fullarian Prof. Chem. Royal Institution, &c. &c. &c. By J. Frederic Daniell, Esq. F. R. S., Prof. Chem. in King's College, London (1839).***

Nesta comunicação, foram discutidas sistematicamente diversas variáveis que influenciavam a ação voltaica: a distância entre o metal gerador e o metal condutor, o formato e o tamanho dos eletrodos, bem como o arranjo das pilhas em série (DANIELL, 1839b).

Daniell investigou o efeito de se aproximar o metal gerador do metal condutor, diminuindo o diâmetro do cilindro de cobre – o que implicava também em diminuir a superfície do metal condutor. Observou, assim, que havia uma diminuição da ação da bateria (medida pelo volume de gás produzido medida pelo voltômetro) que era aproximadamente igual à respectiva redução da área superficial do cilindro condutor. Ao aumentar, porém, o diâmetro do cilindro de cobre, observou que a ação da bateria também diminuía. Sem ter uma explicação para esse comportamento, declarou que seriam necessárias investigações posteriores e admitiu que:

a única conclusão que neste momento podemos obter dos experimentos... é que cilindros de três e meia polegadas de diâmetro constituem placas de condução muito mais eficientes em um arranjo voltaico do que cilindros de diâmetros maiores ou menores. Deve-se ter em mente, entretanto, que isso somente foi provado com uma série de dez células, pois é altamente provável que os limites de eficiência possam mudar com o número [*de células*] da série (DANIELL, 1839b, p. 90).

Em seguida, descreveu experimentos nos quais investiga os efeitos de utilização de diferente número de células (com diâmetros padronizados em 3,5 polegadas) ligadas em série em diferentes arranjos, envolvendo até vinte células. Para outros experimentos, porém, utilizou ainda mais células:

Combinei agora, em uma única série, uma bateria **de setenta células** das mesmas dimensões, carregadas da mesma maneira, com o propósito de observar principalmente os efeitos da luz e do calor produzidos pela corrente em um estado de alta intensidade e de ação constante (DANIELL, 1839b, p. 92, grifo nosso).

Aqui, além do grande número de células, chama a atenção o fato de se utilizar a liberação de luz e calor como indicativos da ação voltaica. Daniell descreveu vários experimentos em que produziu descargas elétricas entre duas agulhas feitas de carbono,

através do ar e sob vácuo, produzindo um brilho tão intenso que era prejudicial aos olhos, e o calor era capaz de provocar queimaduras semelhantes às causadas pelo Sol (DANIELL, 1839b, p. 92). Também observou a transferência de carvão de uma extremidade do arco elétrico para a outra, sempre no sentido daquela ponta ligada ao *zincodo*<sup>10</sup> para aquela ligada ao *platinodo*. Além disso, também havia transferência de matéria quando o carvão era substituído por um metal. Daniell especulou se o fato de haver um sentido específico para essa transferência estaria relacionado às causas da descarga elétrica, ainda desconhecidas.

Foi investigada também a influência de um ímã sobre a descarga elétrica mantida através do ar, sendo observado inicialmente que o arco elétrico podia ser atraído ou repellido conforme a posição do ímã. A partir daí outros arranjos foram testados: fazendo-se o arco elétrico ser produzido a partir da extremidade de um ímã ligado à bateria, foi possível observar a rotação do arco elétrico, cujo sentido (horário ou anti-horário) dependia do ímã estar conectado ao metal condutor ou gerador da bateria (DANIELL, 1839b, p. 93).

A última série de experimentos descritos nessa comunicação se refere ao uso da bateria voltaica para provocar a decomposição da água, recolhendo os gases formados em um recipiente fechado. Entre os objetivos de Daniell estava observar se a crescente pressão da mistura gasosa recolhida teria algum efeito sobre a ação da bateria, ou mesmo se poderia haver recombinação dos gases. Vários experimentos foram realizados, incluindo mesmo a eletrólise em um tubo de vidro hermeticamente fechado até que a pressão interna dos gases provocasse a explosão do tubo. Em nenhum caso foi observada qualquer alteração na ação da bateria, mesmo tendo que se opor à “força elástica” dos gases acumulados. Ao calcular os valores da pressão interna nos tubos, Daniell especulou se esse tipo de experimento poderia ser usado para a liquefação de gases – um assunto que era de interesse de Faraday e ao qual Daniell sugere que poderia se dedicar posteriormente.

Cada uma das comunicações de Daniell à *Royal Society* traz novos assuntos, que vão se interrelacionando com os conhecimentos anteriores sobre a ação voltaica. Conforme foram surgindo outras demandas, outras inquietações, elas foram sendo incorporadas ao conjunto do trabalho de Daniell. Nossa investigação sobre diferentes fontes, incluindo as comunicações à *Royal Society* e as duas edições do livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, permitiu a compreensão das inovações estruturais introduzidas por Daniell em relação aos

---

<sup>8</sup> Daniell sugeriu, nessa comunicação, o uso da denominação de *zincodo* para o eletrodo correspondente ao metal gerador, e *platinodo* para o eletrodo correspondente ao metal condutor – embora, em seu texto, o uso desses termos seja confuso. Sua sugestão acabou caindo no esquecimento.

componentes metálicos, aos eletrólitos utilizados, à disposição dos componentes, à separação entre os eletrólitos e ao tamanho da pilha. Percebe-se que cada aspecto da pilha, cada componente, foi sistematicamente estudado e aperfeiçoado: o arranjo como um todo, seus compartimentos, o par metálico e os eletrólitos.

Em pós-escrito a sua comunicação de 1837, Daniell afirmou que a bateria constante abria novas possibilidades de aplicações econômicas para a eletricidade voltaica. Fica claro, portanto, que suas motivações para o aperfeiçoamento do dispositivo não se restringiam ao estudo da Natureza ou à eletricidade voltaica em si, mas também incluíam aspectos práticos. A bateria desenvolvida foi importante especialmente para a implantação de um sistema de comunicação em larga escala para a época, inicialmente na Inglaterra e depois entre localidades mais distantes: o telégrafo.

### ***3.3 Contribuição da bateria constante de Daniell para o telégrafo elétrico***

Na Inglaterra de meados do século XIX estava em curso a expansão de cidades, indústrias, relações comerciais e políticas de colonização. Havia grande interesse em tornar possível a comunicação entre polos industriais ou de exploração mineral que se encontravam geograficamente distantes, bem como entre as zonas que estavam progressivamente se tornando mais urbanizadas dentro do país. O desenvolvimento econômico e industrial da Grã-Bretanha nessa época foi, em grande parte, devido à indústria têxtil abastecida com o algodão vindo de colônias, especialmente da Índia (LEONARDO *et al.*, 2009). Nesse contexto, o telégrafo elétrico foi uma invenção muito bem vinda.

A necessidade de estabelecer comunicação direta dentro do território inglês e também com outros países para finalidades comerciais – especialmente com os Estados Unidos e países europeus com bolsas de valores ativas, como a França – e também para o controle das colônias na Ásia e na África fez com que a Inglaterra investisse crescentes recursos financeiros na expansão de redes telegráficas. Entre os anos 30 e os anos 50 do século XIX as redes de telégrafos elétricos<sup>11</sup> foram consolidadas e as empresas britânicas praticamente

---

<sup>11</sup> Geralmente, o uso da palavra “telégrafo” se refere aos telégrafos elétricos, ou seja, àqueles que dependiam da eletricidade para transmitir, por fios condutores, as mensagens constituídas de pulsos elétricos. Os fios podiam ser dispostos pelo ar (redes aéreas), pelo solo (redes subterrâneas) ou pelas águas (redes submarinas). Entretanto, o telégrafo elétrico não é o único tipo existente: o telégrafo visual (do tipo óptico, de sinalizações luminosas e mais simples) surgiu primeiro, como uma alternativa aos sinalizadores marítimos. Em nosso texto, a palavra “telégrafo” se refere ao tipo elétrico, porém esse não foi o único tipo utilizado nos séculos XVIII e XIX.

detinham o monopólio do conhecimento e da técnica para sua implantação (HUUDERMAN, 2003).

O telégrafo elétrico inaugurou uma nova era de comunicação eficiente, conectando o mundo de uma forma não possível anteriormente. Exemplo do impacto de sua consolidação foi a criação do Observatório Mundial, para padronizar o horário internacional (KOCHER, 2014a). Embora as redes telegráficas tenham tido um desenvolvimento relativamente rápido em duas décadas, no período anterior houve diferentes entraves a sua implementação. Um deles era a necessidade de uma fonte de alimentação de corrente contínua para as redes, obstáculo para cuja superação Daniell contribuiu de maneira decisiva. Nota-se nesse contexto a existência, em meados do século XIX, de uma convergência sem precedentes entre sociedade e ciência (KOCHER, 2014b).

A eficiência dos telégrafos decorria de um princípio físico já bastante conhecido e explorado no século XIX: a condução de eletricidade por um material metálico. As palavras que constituíam uma mensagem eram codificadas em impulsos elétricos que deveriam percorrer a rede. As redes de transmissão consistiam em fios metálicos (inicialmente feitos de ferro e depois substituídos por fios de cobre) revestidos por materiais isolantes como resinas ou borrachas naturais, entre os quais a guta-percha, e suspensos em postes de madeira. Basicamente, tratava-se de circuitos elétricos com pontos inicial e final distantes (KOCHER, 2014c).

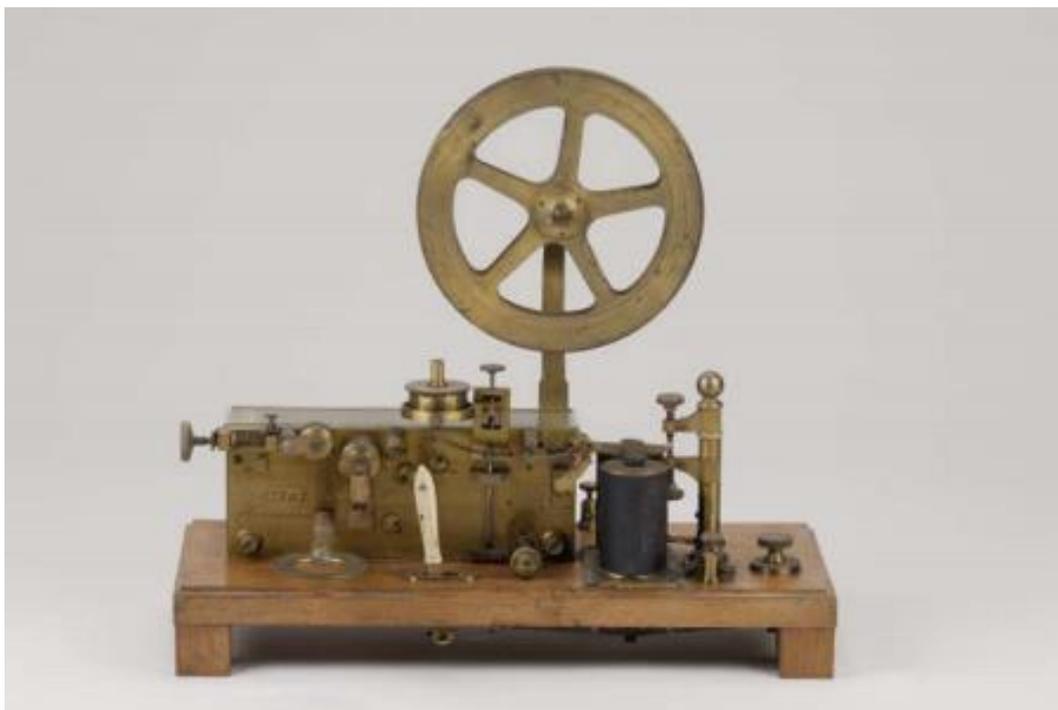
A implantação das redes telegráficas foi um marco nas relações entre ciência, técnica e sociedade: novos conhecimentos eram transpostos dos telégrafos experimentais para as redes das cidades. Singer (1958) aponta três momentos importantes na evolução dos telégrafos. O primeiro foi a criação dos telégrafos eletrostáticos, como o telégrafo do espanhol Francisco Salvá y Campillo, no qual a eletricidade era armazenada em garrafas de Leiden<sup>12</sup> conectadas a fios que tinham uma letra correspondente (HIGHTON, 1852). O segundo foi o desenvolvimento dos telégrafos eletroquímicos, que utilizavam a eletrólise para produzir corrente para transmitir as mensagens. O terceiro momento é caracterizado pelos telégrafos eletromagnéticos, como o de Wheatstone e Cooke, que já era um modelo comercial. Nele,

---

<sup>12</sup> A garrafa de Leiden pode ser interpretada atualmente como uma espécie de capacitor, ou seja, um dispositivo capaz de armazenar carga elétrica. Criada em 1746 por Pieter van Musschenbroek (1692-1761), em Leiden, Países Baixos, consistia de um frasco cilíndrico revestido de um material condutor por dentro e por fora, com um material isolante entre eles. Segundo Jardim e Guerra (2018), a partir da garrafa de Leiden, quantidades significativas de carga elétrica puderam ser armazenadas, o que possibilitou e impulsionou estudos em eletricidade.

havia cinco agulhas magnetizadas que estavam dispostas em um suporte de madeira; com a passagem de corrente elétrica, as agulhas se movimentavam em ângulos específicos e apontavam para a letra correspondente (FIVE, 2014 *apud* KOCHER, 2014c).

Dentre os diversos modelos de telégrafo, o que mais se popularizou foi o do estadunidense Samuel Morse (1791-1872), devido a sua simplicidade e eficácia na transmissão de mensagens (Figura 27). Morse criou um sistema de pontos e traços, no qual cada impulso com duração de um segundo era um ponto, um impulso de três segundos era um traço, e cada letra do alfabeto era codificada por um conjunto de pontos e traços (Figura 28). Inicialmente, as mensagens que chegavam ao aparelho receptor eram decodificadas e anotadas por pessoas com ouvidos treinados; posteriormente, foi criado um sistema acoplado ao receptor que imprimia em papel os sinais transmitidos. Com isso, a interpretação das mensagens passou a não depender mais de habilidades individuais (KOCHER, 2014b).



**Figura 27:** Telégrafo de Morse, pertencente ao acervo do Museu de Ciência da Universidade de Coimbra.  
**FONTE:** Leonardo (2009).

LETTERS.						
A ---	E -	I --	M ---	Q ----	U ---	Y ---
B ----	F ----	J ----	N ---	R ---	V ----	Z ----
C ---	G ----	K ----	O --	S ---	W ----	& ----
D ---	H ----	L ---	P ----	T ---	X ----	

NUMERALS.				
1 ----	3 ----	5 ----	7 ----	9 ----
2 ----	4 ----	6 ----	8 ----	0 ----

PUNCTUATION.		
Period ----	Interrogation ----	Quotation ----
Comma ----	Exclamation ----	Parenthesis ----

**Figura 28:** O código Morse. **FONTE:** Benjamin, 1886 *apud* Kocher, 2014c.

Nesse contexto, a bateria como fonte de eletricidade foi um componente essencial para o desenvolvimento do telégrafo. As inovações introduzidas por Daniell relacionadas aos eletrólitos e ao arranjo interno do dispositivo, com os componentes separados, tornaram a bateria mais eficiente e facilitou seu uso (Figuras 29 e 30), permitindo a estruturação das redes telegráficas em larga escala.



**Figura 29:** Associação de pilhas de Daniell para redes telegráficas.  
**FONTE:** <https://www.ianvisits.co.uk/blog/2016/09/21/city-of-london-marks-150-years-of-transatlantic-telegraphs/> (Acesso em 8 maio 2021).



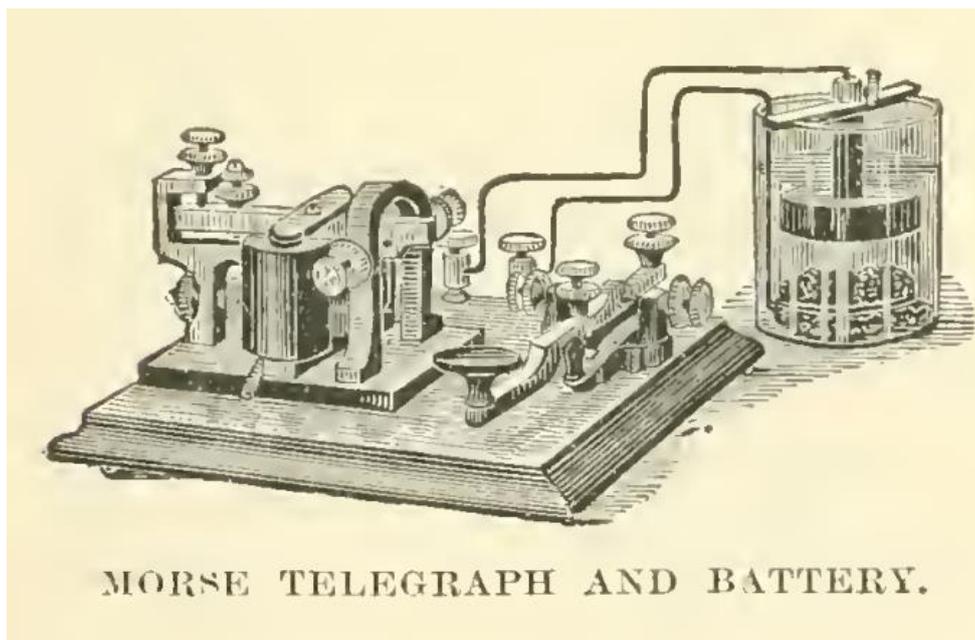
**Figura 30:** Associação de pilhas de Daniell para redes telegráficas.

**FONTE:** <http://www.victorianweb.org/painting/reviews/decoded1.jpg> (Acesso em 8 maio 2021).

O impacto da pilha de Daniell em sua época pode ser ilustrado pelo destaque dado a ela em um livro de divulgação, dedicado aos “Triunfos e maravilhas do século XIX...”, exibindo as diversas e maravilhosas conquistas que notabilizaram cem anos de progresso material, intelectual, social e moral”, conforme alardeia seu título. Nesse livro, há uma seção dedicada ao telégrafo, na qual o autor assinala a importância da contribuição de Daniell:

(...) até 1836, nenhuma bateria havia sido produzida que fosse suficientemente constante em seu funcionamento para fornecer o tipo de corrente necessária [para suprir os telégrafos]. Para possibilitar a telegrafia, dois passos importantes seriam ainda necessários. Um deles foi a descoberta do eletroímã, 1825-30. O outro foi a descoberta da bateria ou célula de Daniell, em 1836, por meio da qual uma corrente elétrica constante poderia ser sustentada por um longo tempo (BOYD, 1901, p. 27).

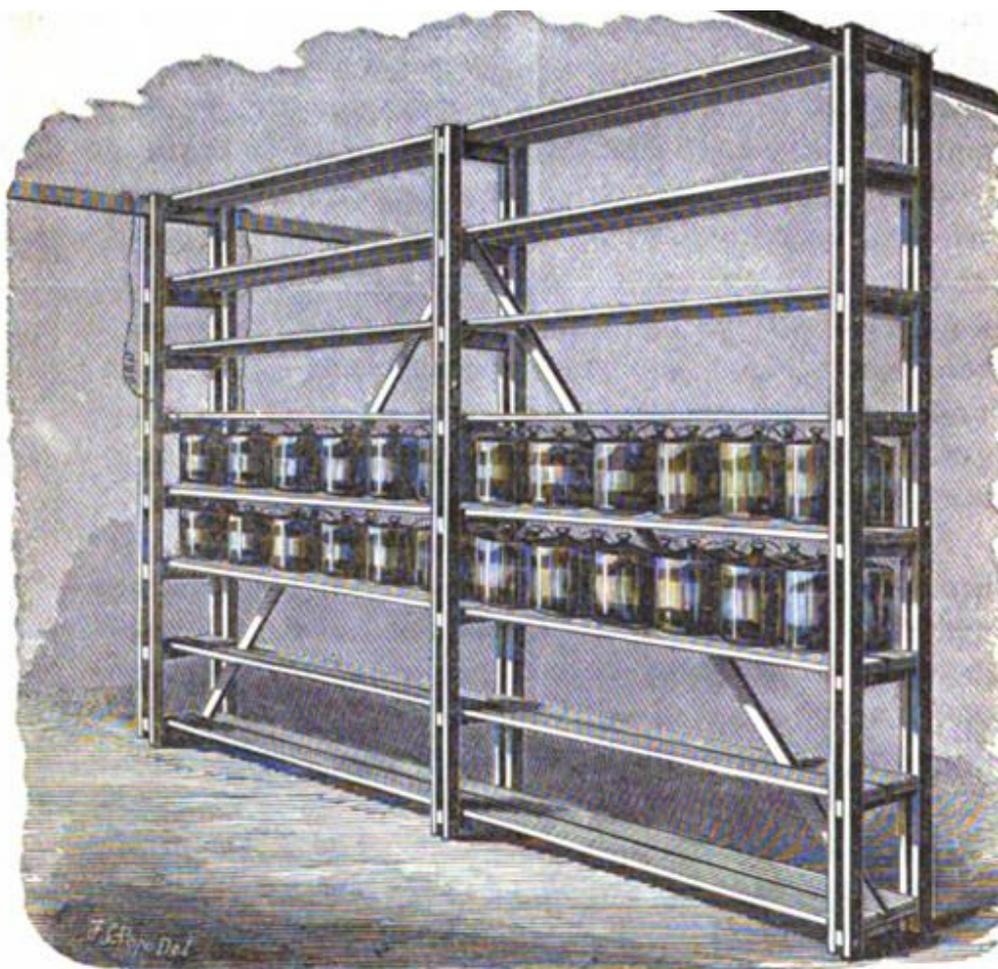
A própria ilustração do telégrafo, que acompanha esse texto, destaca sua associação com a pilha (Figura 31).



**Figura 31:** O telégrafo de Morse acoplado à bateria constante, destacados entre as “maravilhas” do século XIX.  
**FONTE:** Boyd, 1901, p. 27.

Pode-se observar, na Figura 31, que a pilha ilustrada não corresponde ao arranjo original de Daniell, mas a uma versão da pilha que ficou conhecida como “pilha de gravidade”, a qual foi muito utilizada devido à simplicidade de sua construção. Suas características serão apresentadas mais adiante nesta dissertação, na seção dedicada à análise dos livros didáticos.

Para se ter uma dimensão do rápido crescimento da demanda por baterias para suprir as redes telegráficas, pode-se mencionar que, somente na sede do *London General Post Office* havia cerca de 20.000 células (PREECE; SIVEWRIGHT, 1876; PRESCOT, 1860). A Figura 32 mostra como era a organização das baterias na central telegráfica da *Western Union Telegraph Company* em Nova York: cada estante dispunha de oito prateleiras duplas, cada qual com 24 baterias (a ilustração mostra apenas duas prateleiras preenchidas com baterias), somando 192 no total (PRESCOTT, 1879).



**Figura 32:** Estante de baterias na estação telegráfica da *Western Union Telegraph Company*, Nova York, EUA.  
**FONTE:** PRESCOTT (1879).

Outra ilustração do final do século XIX ou início do XX mostra um escritório teleográfico (Figura 33). Nela se pode ver, à direita, o telegrafista e o guichê de atendimento ao público. É possível observar, sob a mesa do telegrafista, dois recipientes que representam as pilhas. O telégrafo, inicialmente difundido para comunicação em longa distância em prol dos interesses das potências europeias e dos Estados Unidos, passou também a ser amplamente utilizado pela população para o envio de mensagens pessoais diversas.



**Figura 33:** Um escritório telegráfico da virada do século XIX para o XX. A ilustração faz parte de uma coleção de cartões colecionáveis distribuídos pelo fabricante do “Extrato de carne Liebig”, populares na Europa na época. **FONTE:** Oxford Science Archive/ Heritage Images/ Science Photo Library. <https://www.sciencephoto.com/media/997479/view> (Acesso em 8 maio 2021).

Conforme mencionado anteriormente, embora a pilha de Volta fosse capaz de gerar corrente elétrica contínua, seu funcionamento era irregular e se esgotava em pouco tempo. O desenvolvimento das redes telegráficas exigiu uma série de avanços tecnológicos, entre os quais se insere a bateria constante de Daniell.

Este estudo de caso apresentou o processo de elaboração e as principais características da chamada pilha constante desenvolvida originalmente por Daniell. Na sequência desta dissertação, analisamos como os livros didáticos de química geral apresentaram a pilha de Daniell em diferentes momentos ao longo do século XX e também no século XIX – em geral, na forma de representações bastante distintas do dispositivo original.

## 4.0 ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA GERAL

Os modelos encontrados nos livros didáticos foram reunidos em categorias por semelhança. As categorias e subcategorias, criadas no decorrer da análise, são as seguintes:

- ✓ pilha de Daniell e a pilha de gravidade:
  - pilha de Daniell como sinônimo de pilha de gravidade;
  - pilha de gravidade como caso particular da pilha de Daniell;
  - pilha de Daniell e pilha de gravidade como dispositivos diferentes com características comuns;
- ✓ pilha de zinco e cobre sem menção ao nome de Daniell;
- ✓ pilha de Daniell construída com recipientes concêntricos e parede interna porosa.

Nota-se uma predominância da associação da pilha de Daniell à pilha de gravidade até os anos 1950, e nesse período os conteúdos relacionados à pilha variam de autor para autor. A partir dos anos 1950, o modelo didático assume uma forma diferente e o conteúdo relacionado são as reações de oxirredução. A seguir são apresentadas e discutidas as diferentes caracterizações didáticas da pilha de Daniell encontradas nos livros componentes da amostra.

### 4.1 A pilha de Daniell e a pilha de gravidade

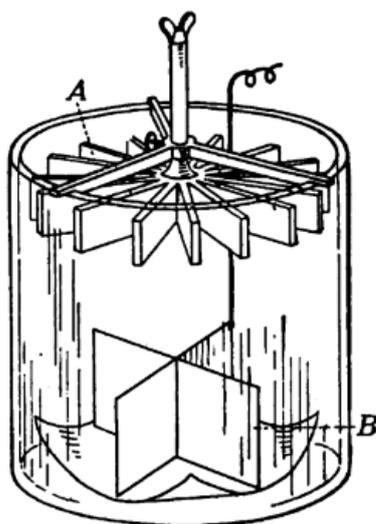
De modo geral, entre meados da década de 1910 até a década de 1950, a pilha de Daniell esteve muito associada à pilha de gravidade. Nota-se que alguns autores incluíam a representação da pilha de gravidade, mas faziam distinção entre esse dispositivo e a pilha de Daniell; outros não estabeleciam qualquer distinção.

As pilhas de gravidade são constituídas por dois eletrodos inseridos em um mesmo recipiente: na parte inferior encontra-se o eletrodo de cobre, e na parte superior o eletrodo de zinco. Em algumas representações, o formato dos eletrodos lembra os “pés” de aves (em inglês, os autores usam a expressão *crowfoot*; literalmente, “pata de corvo”). Uma porção de sulfato de cobre sólido é colocada no fundo do recipiente, imersa em uma solução saturada desse mesmo sal. Sobre essa solução, coloca-se com cuidado uma solução diluída de sulfato de zinco, ou outro eletrólito diluído. Como não há uma parede porosa separando as duas soluções, existe a tendência dos íons de cobre reagirem diretamente com o eletrodo de zinco

metálico. Porém, como a solução contendo cobre está abaixo do eletrodo de zinco, os íons de cobre devem migrar no sentido oposto à força peso para se depositar sobre o eletrodo de zinco, por isso o nome dado ao dispositivo. Assim, essa disposição faz com que a pilha mantenha a intensidade da corrente por um período de tempo considerável.

#### 4.1.1 *Pilha de Daniell como sinônimo de pilha de gravidade*

Em livros da década de 1910, como os de McPherson e Henderson (1913; 1917), o dispositivo chamado de “célula de Daniell” (*Daniell cell*) (Figura 34) é apresentado como sendo a pilha de gravidade. A pilha em questão é apresentada como um exemplo de célula elétrica (*electric cell*) em uma seção que trata de materiais metálicos, ou seja, como exemplo de aplicação prática dos metais.



**Figura 34:** Pilha de Daniell. *A* é o eletrodo de zinco e *B* é o eletrodo de cobre.

**FONTE:** McPherson e Henderson (1913 e 1917).

O formato dos eletrodos procurava maximizar a superfície de contato com os eletrólitos. Isso possibilitava o funcionamento da pilha por um período maior de tempo, o que era mais viável para sua utilização nos telégrafos, por exemplo. Esse dispositivo foi difundido também pela simplicidade da construção: não havia barreira física separando os eletrólitos, ficando a solução mais concentrada (solução saturada de um sal de cobre) – e mais densa – na parte inferior, e a mais diluída (solução de um sal de zinco) acima dela.

Assim, podemos inferir que a pilha de Daniell foi transformada em modelo didático com muitas diferenças em relação à original já desde as primeiras décadas do século XX, quando começou a ser apropriada pelos autores de livros didáticos.

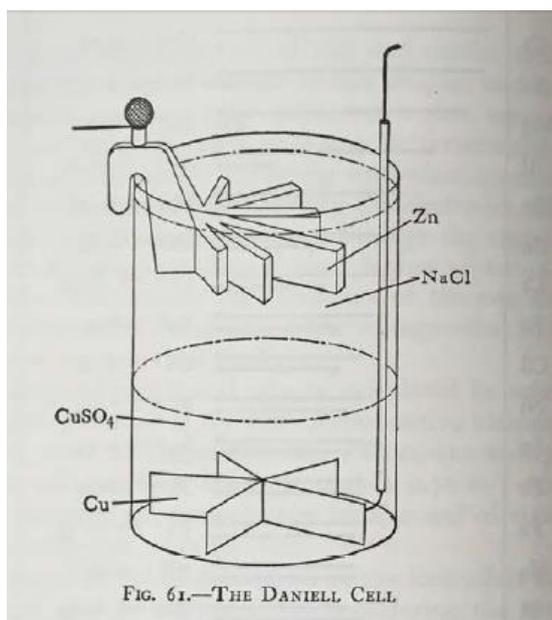
Smith (1916) aborda a pilha como “célula de gravidade de Daniell” (*gravity Daniell cell*). Essa representação está inserida em uma seção sobre química eletromotiva (força eletromotriz), na parte final do livro. Smith (1916) apresenta a célula de gravidade (Figura 35) como um exemplo de aplicação da força eletromotriz. São fornecidos os valores em volts para a ação da pilha e de cada eletrodo (+0,5 para o zinco e -0,58 para o cobre). A seção onde se insere a ilustração, e o conteúdo a ela associado, são curtos e concisos, não havendo uma seção específica de eletroquímica, assim como em outros livros que datam dessa década.



**Figura 35:** Célula de gravidade de Daniell. **FONTE:** Smith (1916).

Antes mesmo dos livros trazerem seções únicas e específicas sobre eletroquímica, a pilha de Daniell já foi utilizada como modelo didático. O que se constata é que, conforme os conteúdos sobre eletroquímica vão sendo ampliados e incluindo o aspecto submicroscópico, esse modelo didático é associado a diferentes conceitos.

A Figura 36 foi extraída do livro de Schlesinger (1950), que denomina esse dispositivo como pilha de Daniell. A construção da pilha é explicada: coloca-se o eletrodo de cobre em conjunto com o sulfato de cobre sólido e a solução saturada. Em seguida, uma solução salina de cloreto de sódio é derramada vagarosamente pela parede do recipiente para que não se misture com a solução de sulfato de cobre. Por último se coloca o eletrodo de zinco. O autor não faz menção a elementos essenciais do dispositivo original de Daniell, embora enfatize que esse dispositivo produziu correntes contínuas por mais tempo.



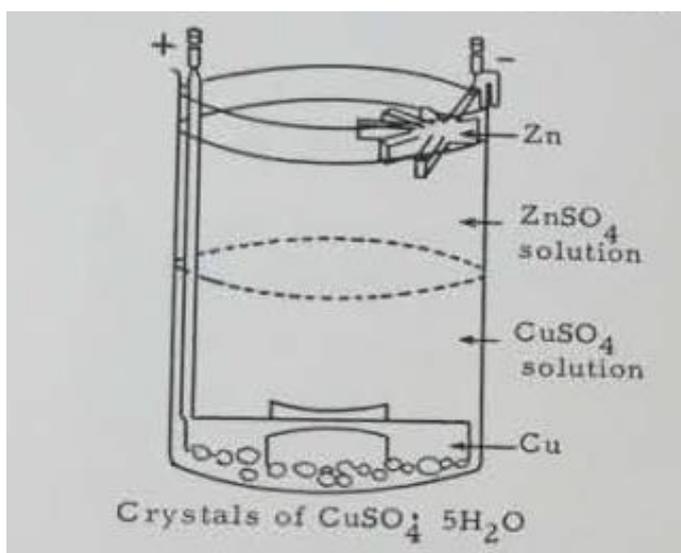
**Figura 36:** A pilha de gravidade identificada como sendo a pilha de Daniell. **FONTE:** Schlesinger (1950).

Uma diferença desse livro em relação aos outros é que a representação da pilha de gravidade está na seção sobre propriedades dos íons e compostos iônicos, juntamente com a série de força eletromotriz, eletrólise e células primárias. A eletroquímica não se encontra mais no final do livro, ou seja, não é tratada como conhecimentos novos, mas já consolidados, e aparece na primeira parte do livro. Em Schlesinger (1950), a eletrólise ganha destaque consideravelmente maior que as representações e explicações conceituais sobre pilhas. O funcionamento do dispositivo apresentado pelo modelo didático é utilizado como exemplificação de fenômenos submicroscópicos, embora se possa questionar se a imagem da pilha, por si só, seria suficiente para que o leitor ou leitora conseguisse compreender como esses fenômenos acontecem.

O livro de Luder *et al.* (1953) traz uma representação (Figura 37) da pilha de gravidade que, uma vez mais, é chamada de pilha de Daniell. Numa seção intitulada “Células comerciais”, Luder *et al.* (1953) explicam qual sua acepção para esse nome:

Uma versão comercial da célula de zinco-cobre é conhecida como *célula de Daniell*, ou [célula] *de gravidade*... Em vez de utilizar uma ponte salina, a diferença de densidade das soluções é usada para impedir que o zinco reaja diretamente com os íons cúpricos. Um dos primeiros usos da célula de Daniell foi em sistemas de telegrafia (LUDER *et al.*, 1953, p. 451, *itálicos no original*).

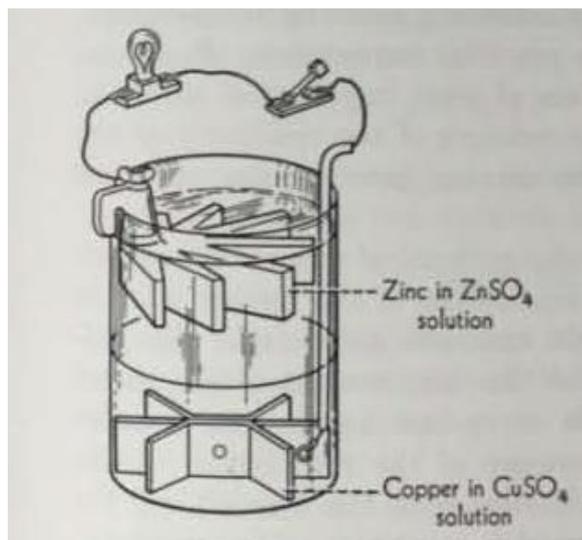
A abordagem de Luder *et al.* tem um caráter matematizado e as representações da pilha de gravidade e da pilha seca são colocadas lado a lado, acompanhadas por um texto em que são calculadas e comparadas suas forças eletromotrizes. Esse e outros conteúdos de eletroquímica se encontram na primeira metade do livro, assim como em outras obras do período (como Frey [1952], analisado mais adiante). Na citação acima, o autor também destaca que na célula de gravidade não há ponte salina, como em outros modelos didáticos da pilha de Daniell.



**Figura 37:** A pilha de gravidade identificada como pilha de Daniell. **FONTE:** Luder *et al.* (1953).

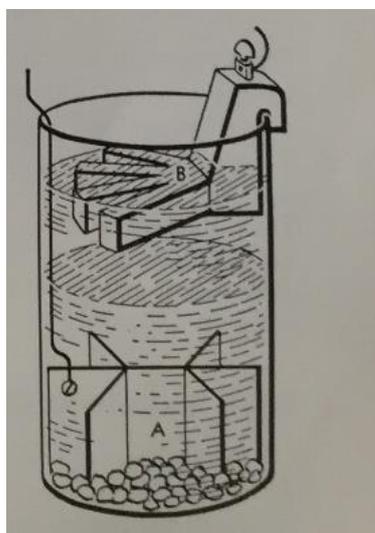
O capítulo sobre eletroquímica contém explicações sobre unidades de medida (como o *volt*), série eletromotiva (potenciais padrão) e também sobre outras aplicações comerciais para fenômenos eletroquímicos, como eletrodecomposição e galvanização, além das pilhas. Isso caracteriza, tanto nesse livro quanto em Frey (1952), uma abordagem mais contextualizada para o conteúdo.

Para Mack Jr. *et al.* (1956) não há distinção entre pilha de gravidade e pilha de Daniell, assim como para outros autores já citados. O texto que traz a explicação sobre o dispositivo ilustrado é breve e conciso, e está inserido no capítulo de eletroquímica que se encontra no início do livro. Aqui também a pilha de Daniell (Figura 38) se insere em uma seção na qual a pilha seca e a bateria de chumbo-ácido são abordadas. O capítulo apresenta os conceitos de eletrólise, potenciais de eletrodo e aplicações da eletrólise, ou seja, Mack Jr. *et al.* (1956) também contextualizam, de certa forma, alguns conceitos de eletroquímica.



**Figura 38:** A célula de Daniell. **FONTE:** Mack Jr. *et al.* (1956).

Nebergall & Schmidt (1957) classificam as células eletroquímicas em primárias (irreversíveis, pois “os eletrodos e eletrólitos são de tal natureza que não podem ser restaurados a seus estados originais pela aplicação de um potencial elétrico externo” [p. 285]) e secundárias (reversíveis). A pilha de gravidade (Figura 39), chamada de pilha de Daniell, é um exemplo de célula primária. Portanto, nesse caso não há associação da pilha de Daniell a fenômenos submicroscópicos ou conceitos como reações de transferência de elétrons. A pilha de Daniell é um exemplo de uma classe de dispositivos. O capítulo sobre eletroquímica é o vigésimo de um total de 51, sendo que os conteúdos nele abordados muito se assemelham aos outros livros do período: eletrólise, série eletroquímica, potenciais de eletrodo (inclusive o eletrodo padrão de hidrogênio, que não era abordado por outros autores) e células eletroquímicas.



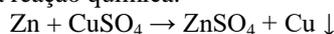
**Figura 39:** A célula de gravidade, ou célula de Daniell. **FONTE:** Nebergall & Schmidt (1957).

#### 4.1.2 *Pilha de gravidade como caso particular da pilha de Daniell*

Para alguns autores, a célula de gravidade seria um arranjo particular da pilha de Daniell, entre outros arranjos possíveis. Isso pode ser observado em épocas diferentes, como nos livros de Blake (1913), Holmes (1922) e de Frey (1952).

Blake (1913) menciona as pilhas como exemplo para explicar os potenciais usos dos metais, mas não apresenta qualquer imagem que as represente. A explicação sobre a pilha de Daniell é dada nos seguintes termos:

Uma das células primárias mais comuns é aquela conhecida como célula de Daniell. Consiste essencialmente em um eletrodo de zinco e um de cobre imersos em uma solução saturada de sulfato de cobre... Para que o zinco não desloque o cobre da solução simplesmente pela reação química:



(o cobre é depositado sobre o eletrodo de zinco sem a geração de uma corrente elétrica), o sulfato de cobre geralmente é separado do eletrodo de zinco ou por gravidade ou por meio de um vaso poroso. Neste último caso, o contato entre a solução de sulfato de cobre e o eletrodo de zinco é feito por meio de ácido sulfúrico (e sulfato de zinco).

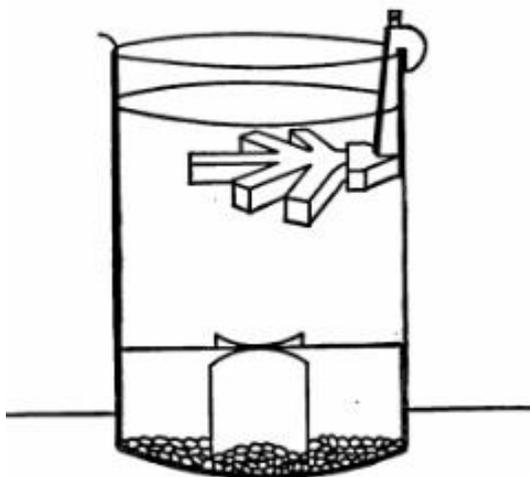
Mesmo não trazendo imagens, o autor menciona que o arranjo da pilha de Daniell no que diz respeito à separação entre a solução de sulfato de cobre e o eletrodo de zinco é “ou por gravidade ou por meio de um vaso poroso”, sugerindo que existe mais de um arranjo possível que pode ser chamado de pilha de Daniell. O funcionamento é explicado a partir do conceito de força eletromotriz<sup>13</sup> e também do comportamento dos íons em solução (o porquê da formação de depósito de cobre e da saturação do eletrólito). Outra particularidade desse livro é que são apresentadas as equações químicas referentes à pilha de Daniell em conjunto com a sua descrição. Em Blake (1913), a pilha de Daniell não tem função elucidativa ou explicativa para nenhum outro fenômeno, e sua apresentação sugere um fim em si mesma.

Holmes (1922) aborda a célula de gravidade (Figura 40) deixando claro que essa célula é uma configuração particular da célula zinco-cobre. Ou seja, a célula de gravidade não

---

<sup>13</sup> No livro em questão e em materiais didáticos diversos para os níveis médio e superior, a força eletromotriz (f.e.m) pode se referir à força propulsora responsável pelo fluxo de elétrons. Há autores que se referem à f.e.m. da pilha e à diferença de potencial (ddp) como se fossem sinônimos, entretanto existem distinções. A força eletromotriz pode ser entendida como “a força que faz com que um elétron se mova [...], a energia necessária para conferir 1 J (joule) a uma carga elétrica de 1 C (coulomb). Sendo que um coulomb é a quantidade de carga que passa por um ponto do circuito elétrico quando uma corrente elétrica de 1 A (ampère) flui por 1 segundo” (Kotz *et al.*, 2016, p. 890). A diferença de potencial se refere à diferença entre os potenciais de cada eletrodo. O potencial de eletrodo (ou potencial da célula) é o chamado potencial padrão de redução, uma medida numérica que expressa a tendência natural de uma espécie metálica oxidar ou reduzir. Portanto, força eletromotriz, ddp e potencial padrão se referem a conceitos diferentes, apesar todas essas grandezas serem medidas em volts. A ddp também é popularmente chamada de “voltagem”, derivado do inglês *voltage*, termo usado para tensão elétrica.

é apresentada como uma criação do próprio Daniell, como sugerem outros autores. A pilha está inserida no conteúdo de eletroquímica, localizado na parte final do livro. De acordo com o autor, tanto uma célula eletroquímica com eletrodos de zinco e cobre separados por uma parede porosa, quanto uma célula de gravidade com os mesmos eletrodos, seriam “frequentemente chamados de célula de Daniell” (p. 461).

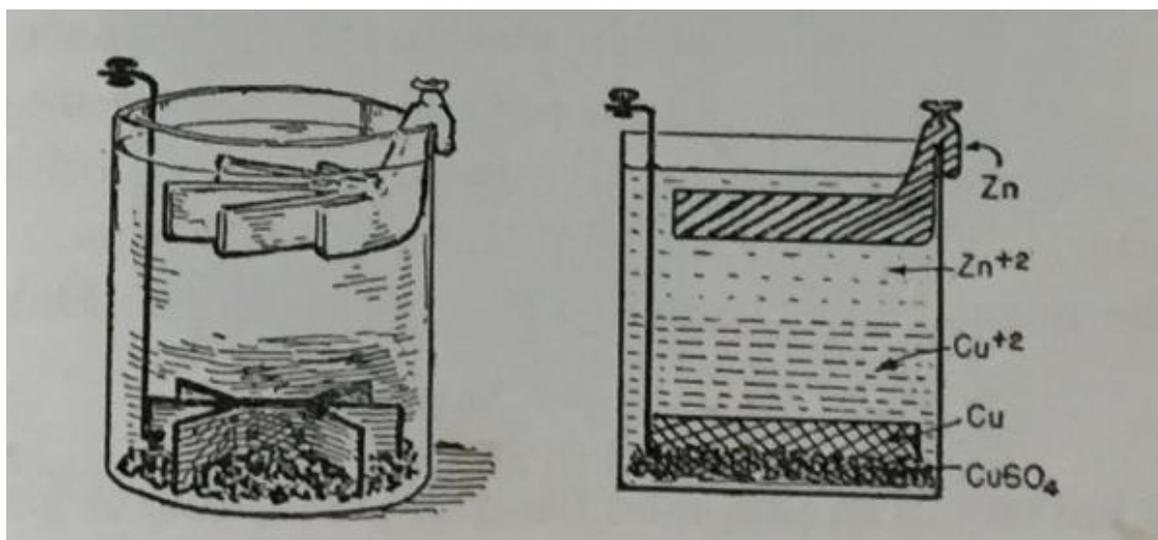


**Figura 40:** Célula de gravidade, frequentemente chamada de célula de Daniell. **FONTE:** Holmes (1922).

Nota-se que, a partir da década de 1920, os livros já trazem de forma mais regular capítulos sobre eletroquímica. Em Holmes (1922), há um capítulo sobre eletroquímica com uma seção sobre baterias elétricas. Nesse capítulo são abordados conteúdos como a série eletroquímica, e apresentadas tabelas com valores dos potenciais de redução de diferentes metais (em volts). Em outros livros mencionados anteriormente também havia informações sobre essas chamadas *séries voltaicas*, porém Holmes (1922) explica como tais valores foram obtidos com a utilização do eletrodo padrão de hidrogênio. Além disso, as células eletroquímicas são apresentadas como dispositivos importantes por si mesmos, e não apenas como exemplos de outros fenômenos característicos dos metais.

O livro de Frey (1952), por sua vez, tem um capítulo sobre compostos iônicos e um capítulo distinto sobre eletroquímica. Os capítulos posteriores ao de eletroquímica abordam metais diversos e suas propriedades (exceto o último capítulo, que trata de química nuclear). Essa sequência de conteúdos se assemelha a livros das primeiras décadas do século XX, apesar de haver sido publicado bem depois. Frey (1952) insere a representação da pilha na seção “células eletroquímicas” (Figura 41), após os conceitos de unidades eletroquímicas e potenciais padrão. Aqui, a pilha de gravidade é colocada como uma forma da pilha de Daniell, ou seja, podem existir outras formas, embora o autor não explicita quais. Entretanto, o texto

sugere que o aspecto característico da pilha de Daniell seriam os eletrodos de zinco em íons de zinco e de cobre em íons de cobre (II). Nessa mesma seção, o autor também traz outras baterias, como a célula de carbono-manganês e a bateria de chumbo-ácido, como se traçasse uma linha do tempo com os dispositivos criados até então. Destaca ainda como a célula de gravidade foi utilizada em telégrafos, trazendo portanto um papel externo ao contexto científico.



**Figura 41:** A versão da pilha de gravidade (ou de “pata de corvo”) da pilha de Daniell. À direita tem-se uma representação de perfil da célula, na qual há dois tracejados distintos para diferenciar as soluções de íons de zinco e de cobre, destacando que elas não devem se misturar a fim de aumentar a durabilidade da célula.

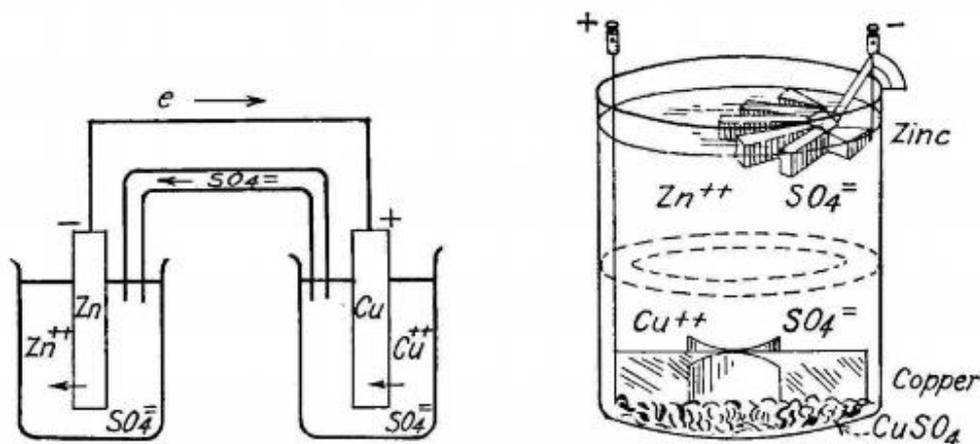
**FONTE:** Frey (1952).

#### **4.1.3 Pilha de Daniell e pilha de gravidade como dispositivos diferentes com características comuns**

Em Timm (1932), há um capítulo dedicado às células eletroquímicas na parte final do livro. Esse capítulo possui mais conteúdos do que outros livros da década de 1930 analisados: potenciais de redução, reações de oxirredução e o eletrodo padrão de hidrogênio. Há diferentes subseções para explicar diferentes tipos de baterias, como as pilhas de concentração e as células de armazenamento (*storage cells*).

Timm (1932) intitula uma das subseções desse capítulo como “A célula de Daniell, ou de gravidade”, sugerindo se tratar de um único dispositivo. Ao fornecer ilustrações, porém, Timm (1932) coloca lado a lado duas figuras, denominando uma como “célula de Daniell” e a outra como “célula de gravidade” (Figura 42), indicando portanto se tratar de dispositivos diferentes. A representação da pilha de Daniell (à esquerda da Figura 42) não é fiel à criação original, sendo semelhante à forma como é retratada em livros mais recentes: os eletrodos são

colocados em recipientes diferentes, possuem o mesmo formato e o mesmo tamanho. Há uma ponte salina que interconecta os recipientes e uma notação com setas para representar o sentido dos elétrons. A célula de gravidade, por sua vez, segue as representações apresentadas por outros livros da amostra descritos anteriormente: o eletrodo de zinco com o característico formato de “pata de corvo” e o eletrodo de cobre na parte inferior do recipiente de vidro.

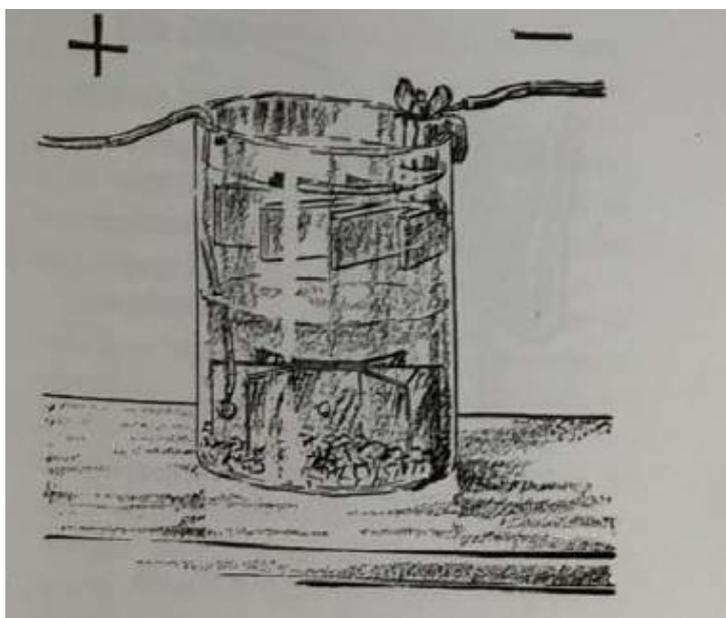


**Figura 42:** Célula de Daniell (esquerda) e célula de gravidade (à direita). **FONTE:** Timm (1932).

Markham e Smith (1954) situam o capítulo sobre eletroquímica na parte final de seu livro. A representação da pilha de gravidade (Figura 43) aparece na mesma seção em que são descritos e comparados o funcionamento de diferentes dispositivos eletroquímicos. Esses autores diferenciam a pilha de Daniell da pilha de gravidade, porém não fornecem maiores detalhes sobre o que seria a pilha de Daniell ou a relação entre ambas. As explicações para a pilha de Daniell e para a pilha de gravidade são bastante concisas:

*A célula de Daniell* utiliza os pares  $Zn, Zn^{++}$  e  $Cu, Cu^{++}$ . Os eletrólitos são os sulfatos de zinco e de cobre. A célula desenvolve um potencial de cerca de 1,1 volts... Em qualquer célula que empregue dois eletrólitos diferentes, a mistura dessas soluções deve ser evitada. Se se permitisse que os íons cúpricos entrassem em contato com o eletrodo de zinco na célula de Daniell, por exemplo, os elétrons seriam transferidos dos átomos de zinco para os íons cúpricos dentro da célula, e não fluiriam pelo circuito externo. A célula estaria internamente em curto-circuito. Na *célula de gravidade*, **que emprega os mesmos eletrodos e eletrólitos que a célula de Daniell**, os reagentes são todos colocados em um único recipiente. Os eletrólitos são separados colocando-se a pesada solução de sulfato de cobre no fundo da célula e vertendo-se cuidadosamente a solução mais leve de sulfato de zinco por cima. (MARKHAM & SMITH, 1954, p. 437, *itálicos no original, negrito nosso*).

Embora o trecho destacado deixe claro que há uma distinção entre o dispositivo de Daniell e a pilha de gravidade, a falta de maiores detalhes ou representações não nos permite saber em quê o autor se baseou para fazer tal distinção. A parte inicial da citação sugere que a pilha de Daniell é caracterizada pela composição dos eletrodos e dos eletrólitos, e pelo fato de os diferentes eletrólitos não poderem se misturar. A célula de gravidade é em seguida apresentada como uma espécie de exceção, pois nela todos os componentes estão em um único recipiente, embora sejam os mesmos da pilha de Daniell. Assim, parece estar implícita a ideia de que, na pilha de Daniell, os eletrólitos e respectivos eletrodos ficam em recipientes diferentes.



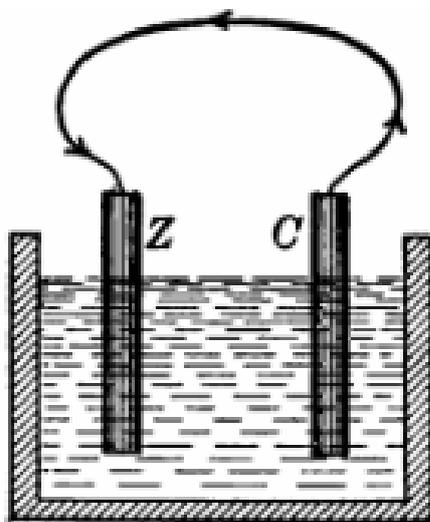
**Figura 43:** A pilha de gravidade. **FONTE:** Markham e Smith (1954).

#### **4.2 Pilhas de zinco e cobre sem menção a Daniell**

Parte da amostra se caracteriza por trazer aspectos do trabalho de Daniell para as explicações conceituais sem mencioná-lo diretamente. Os livros que não citam o nome de Daniell associado à pilha de zinco e cobre são os de Newell (1912), Hildebrand (1918), Brinkley (1941), Pauling (1947 e 1970) e Quagliano (1958).

Em Newell (1912) (Figura 44) são incluídos exemplos de células eletroquímicas compostas por zinco e cobre. Nota-se que a Figura 44 de certa forma se assemelha e remete aos circuitos que o próprio Daniell apresenta em seu livro *An Introduction to the Study of Chemical Philosophy*, embora seus circuitos fossem constituídos por outros metais, como prata, platina e zinco. O uso de ácido sulfúrico como componente principal do eletrólito

também é mencionado pelo autor, o que condiz em parte com o eletrólito utilizado por Daniell em sua bateria.

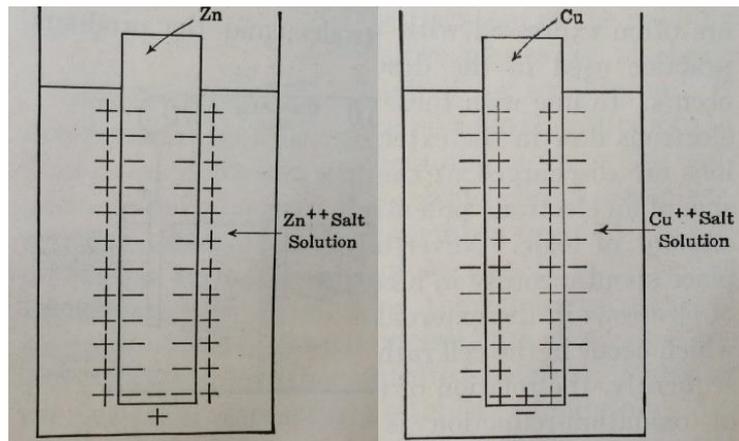


**Figura 44:** Célula voltaica. Placas metálicas: Z = *zinc* (zinco) e C = *copper* (cobre).  
FONTE: Newell (1912).

Newell descreve a diferença entre uma única célula e uma bateria, sendo que a bateria é a associação de várias células. A representação apresentada tem a finalidade de ilustrar a conversão de energia química em eletricidade e vice-versa, mas não são abordados possíveis usos e aplicações de tais células.

Tampouco na abordagem de Hildebrand (1918) há menção ao nome de Daniell, porém são trazidos exemplos de células eletroquímicas compostas por zinco e cobre. Elas aparecem na apresentação do conteúdo de reações de oxidação e redução, e também na seção referente a equilíbrio químico. Não há figuras, apenas explicações sobre como as baterias funcionam, fundamentadas nas reações químicas – ou seja, as baterias são exemplos de reações redox.

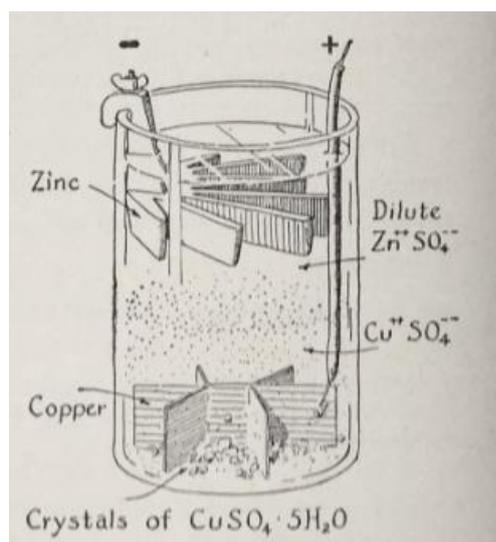
Brinkley (1941) traz, em seu penúltimo capítulo, a seção “*electric cells*”, ou seja, não há um capítulo sobre eletroquímica em geral, apesar de ser um livro da década de 1940. Existem explicações sobre como é possível produzir energia elétrica a partir de reações químicas e como a concentração das espécies químicas influencia a energia obtida. Não é abordado nenhum tipo específico de pilha, bateria ou célula. Existem duas figuras que ilustram a distribuição de cargas em placas de metal imersas em soluções salinas (Figura 45). Os componentes desses sistemas ilustrados são os mesmos da pilha de Daniell, apesar de não existir menção a seu nome.



**Figura 45:** Distribuição de cargas em um metal e em uma solução contendo íons do mesmo metal.

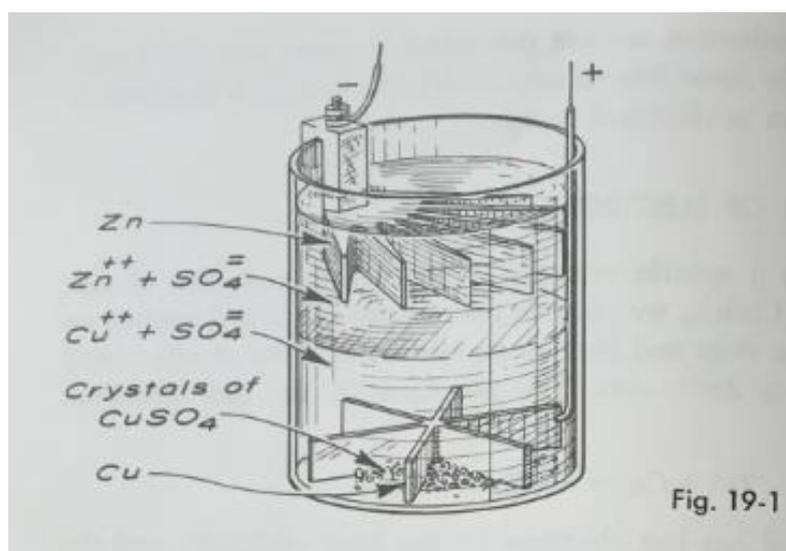
**FONTE:** Brinkley (1941).

No livro de Pauling (1947) não há um capítulo exclusivo sobre eletroquímica, apesar de ser um conteúdo difundido e ensinado nos anos finais da década de 1940. Conteúdos e ilustrações sobre o assunto estão em um capítulo sobre reações de oxidação e redução (Capítulo 10, de um total de 33 capítulos). O autor aborda primeiramente a transferência de cargas, correlacionando esse fenômeno com potenciais padrão de redução e apresentando valores específicos de cada metal em uma tabela. O eletrodo padrão de hidrogênio e a célula de gravidade (Figura 46) são explicados, porém não há associação do nome de Daniell a essa pilha. Portanto, é apresentado o dispositivo comercial largamente utilizado em telegrafia – a pilha de gravidade – excluindo a referência que poderia associá-lo a sua origem ou sua história, ainda que apenas na forma de um simples epônimo.

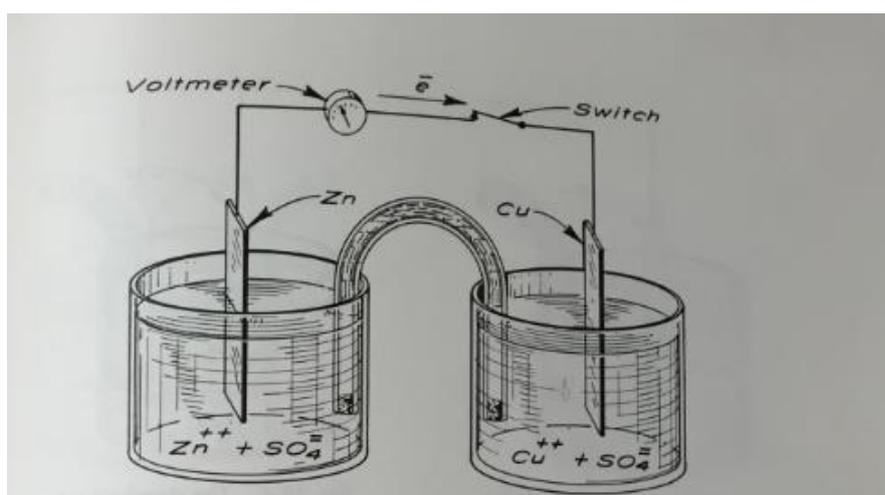


**Figura 46:** Célula de gravidade. **FONTE:** Pauling (1947).

O livro de Quagliano (1958) traz uma representação da pilha de gravidade (Figura 47) e outra representação de uma pilha de duas semi-células com uma ponte salina (Figura 48) – e nenhuma das duas é designada como pilha de Daniell. Ambas representações estão no capítulo de eletroquímica, localizado na primeira parte do livro. Apesar de ser um livro do final da segunda metade da década de 1950, não há explicações sobre outras pilhas e baterias já utilizadas na época e apresentadas em outros livros temporalmente próximos, como a pilha seca ou a bateria de chumbo-ácido.



**Figura 47:** A célula de zinco e cobre. **FONTE:** Quagliano (1958).



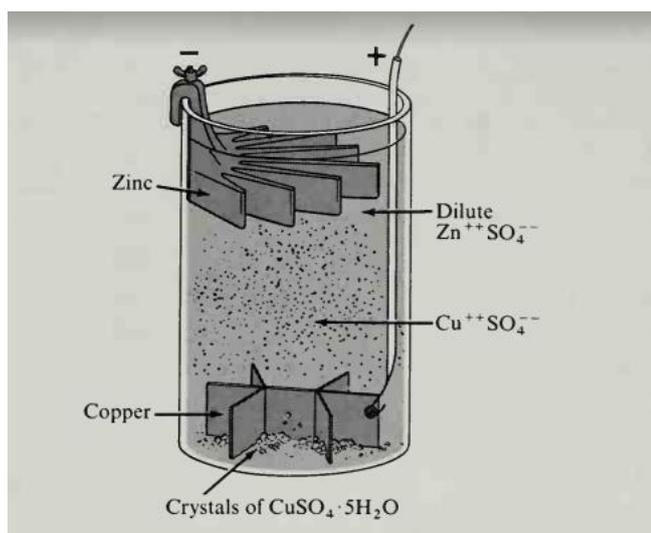
**Figura 48:** A célula de zinco e cobre com ponte salina. **FONTE:** Quagliano (1958).

O conteúdo de eletroquímica em Quagliano (1958) é bastante semelhante ao que consta em livros de décadas anteriores: série eletromotiva, potenciais padrão, transferência de

elétrons, reações de oxidação e redução, embora a eletrólise não esteja aqui incluída. A abordagem para a eletroquímica nesse livro não é contextualizada com suas aplicações na sociedade, apesar de ser datado do final da década de 1950.

O modelo didático de pilha cujos eletrodos estão em dois recipientes independentes e existe uma ponte salina entre eles – que encontramos nos livros de Timm (1932) e Quagliano (1958) – foi pouco utilizado nas seis primeiras décadas do século XX e posteriormente foi reapropriado por autores de livros didáticos. Conforme se verá adiante, a pilha de Daniell – que foi a pilha de gravidade por um certo tempo – se tornará a pilha com a ponte salina.

Na terceira edição do livro de Pauling (1970) há um capítulo sobre eletroquímica, assunto já então integrado ao currículo universitário de química geral. É o décimo quinto de um total de vinte e cinco capítulos, e observa-se que, como em outros livros, os últimos capítulos tratam de assuntos que ainda não eram amplamente difundidos na época. O capítulo de eletroquímica inicia com reações de oxirredução, força eletromotriz e equilíbrio químico. Parte-se do âmbito submicroscópico para depois abordar as células primárias e células de armazenamento, incluindo muito conteúdo físico-químico. Uma imagem da pilha de gravidade (Figura 49) aparece na seção sobre a série de força eletromotriz dos metais em conjunto com equações químicas, com a finalidade de exemplificar o fenômeno em questão. A mesma imagem é utilizada para exemplificar uma célula primária. A seção aborda também as células de armazenamento (*storage cells*) que têm fins comerciais.

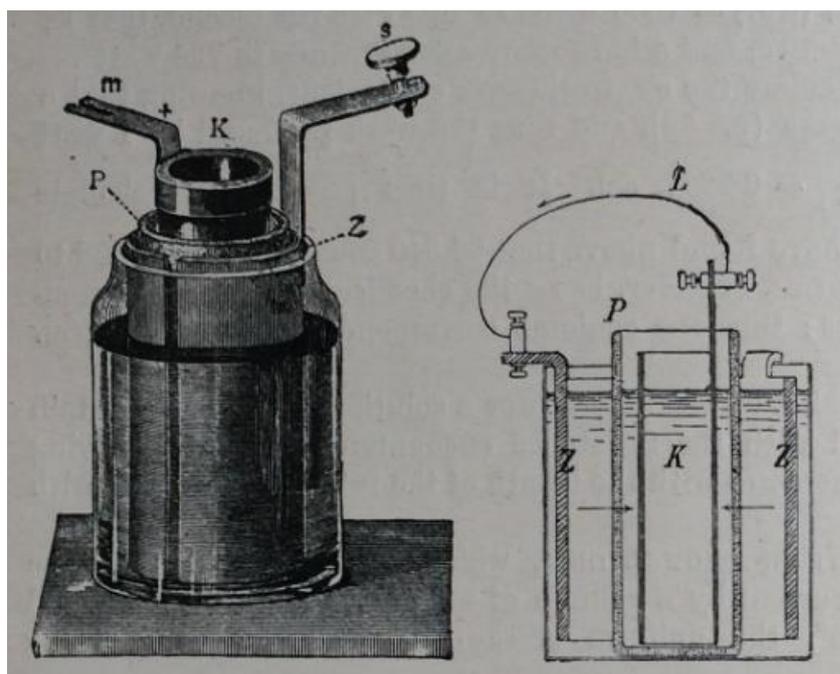


**Figura 49:** Célula de gravidade. **FONTE:** Pauling (1970).

### 4.3 Pilha de Daniell construída com recipientes concêntricos e parede interna porosa

Destacam-se aqui três livros nos quais os autores descrevem a pilha de Daniell sem fazer menção à célula de gravidade. Além disso, em dois deles – Molinari (1912) e Partington (1966) – os autores preservam aspectos importantes do dispositivo original nos modelos didáticos apresentados.

Molinari (1912) traz uma representação da célula de Daniell de duas formas: um esquema (à direita na Figura 50) e um desenho, uma ilustração mais próxima a um dispositivo real (à esquerda na Figura 50). A Parte III do livro é toda sobre metais, e o conteúdo de eletroquímica se encontra nessa seção. O restante da Parte III descreve propriedades e usos dos diversos metais. Observa-se que outros livros temporalmente próximos a esse tampouco apresentam ainda uma seção dedicada exclusivamente à eletroquímica.

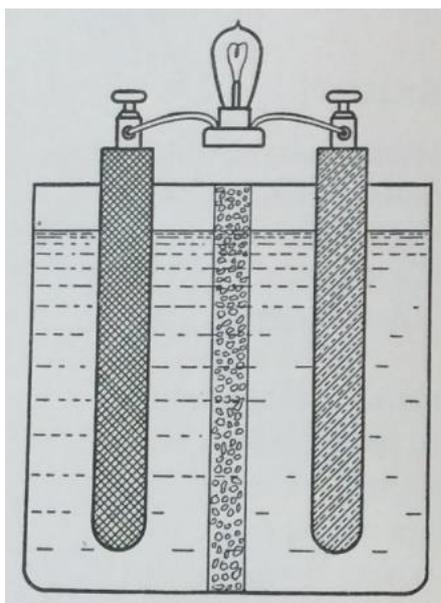


**Figura 50:** Representação da célula de Daniell. A célula é mostrada dentro de um vaso de vidro; *K* é um cilindro de cobre que se encontra dentro de outro cilindro *P* de argila porosa. Além do eletrodo de cobre, há um eletrodo de zinco *Z*, e ambos são interconectados por um fio metálico *L* (representado no esquema à direita; sobre o fio *L*, uma seta indica o sentido da corrente elétrica, oposta ao sentido do fluxo de elétrons). **FONTE:** Molinari (1912).

A partir da representação da chamada célula de Daniell, o autor descreve como surge a corrente elétrica no dispositivo, bem como as características dos materiais metálicos que permitem identificar qual se deposita sobre o eletrodo cilíndrico no centro da célula. É explicada a seguir a chamada “série voltaica” com os potenciais padrão de redução e também

conceitos de oxidação e redução. O modelo da pilha de Daniell apresentado por Molinari (1912) menciona os cilindros concêntricos que compõem a pilha e a mesma combinação de eletrólitos que o próprio Daniell utilizou por mais tempo. Embora não exista uma abordagem histórica, esse modelo é um dos mais fiéis ao original em toda a amostra analisada, ainda que com diferenças na disposição dos componentes da pilha. Fora desse contexto explicativo, Molinari (1912) não aborda aplicações de uso da pilha.

Young e Porter (1940) trazem um capítulo sobre eletroquímica em sua segunda metade, e o livro encontra-se organizado em seções que abordam os seguintes conteúdos: potenciais de eletrodo, séries eletroquímicas, eletrólise e baterias. Não há uma representação visual específica da pilha de Daniell, porém os autores apresentam uma figura que representa genericamente as chamadas “células úmidas” (Figura 51). Nela, é possível observar que os dois eletrólitos são separados por uma parede porosa.



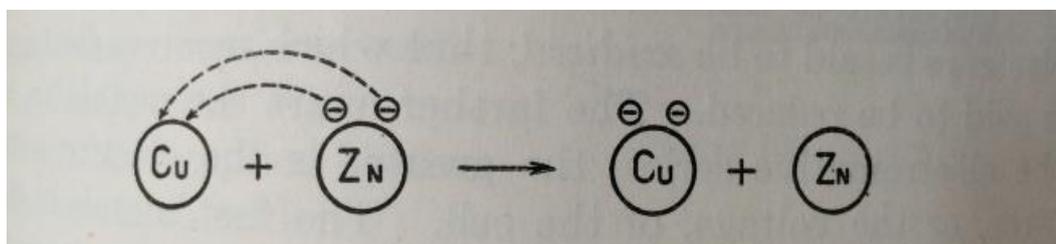
**Figura 51:** Uma célula úmida. **FONTE:** Young e Porter (1940).

Ao tratar da pilha de Daniell como um tipo de célula úmida, Young e Porter (1940) fazem referência a essa ilustração:

Na prática, se utiliza um recipiente poroso em vez de uma parede porosa plana. Esse recipiente é colocado dentro de um jarro, com um eletrodo dentro do recipiente poroso e outro do lado de fora. Essa célula, com eletrodos de cobre e zinco, é chamada de *célula de Daniell* (Young, 1940, p. 489).

Observa-se que a descrição se refere a um recipiente poroso imerso dentro de outro – em um arranjo que, se não é idêntico ao dispositivo original de Daniell, é semelhante a ele.

Além disso, Young e Porter (1940) também fornecem um tipo de ilustração que não costumava ser utilizada em seções dedicadas a pilhas. Buscando elucidar o processo de oxidação e redução, a figura mostra a transferência de elétrons de um átomo de zinco para o que seria um íon de cobre, embora as cargas positivas não sejam representadas (Figura 52).

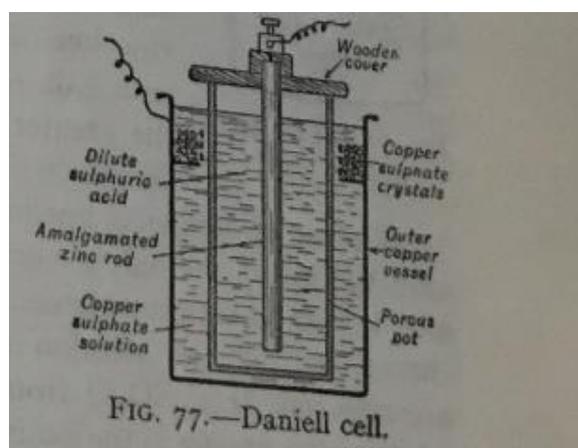


**Figura 52:** Migração de elétrons do zinco para o cobre, como ocorre nos eletrodos da pilha de Daniell.

**FONTE:** Young e Porter (1940).

Em Young e Porter (1940), a pilha de Daniell não é utilizada como um modelo didático para explicar um conceito específico, nem está inserida em uma discussão sobre as propriedades dos metais, sugerindo uma importância em si mesma.

No livro de Partington (1966), o conteúdo de eletroquímica está no capítulo 4 (ou seja, no início do livro) junto ao conteúdo de termoquímica. A abordagem do autor é bem particular, uma vez que não coloca os modelos didáticos nem da pilha de gravidade, nem da pilha com ponte salina. Uma representação consideravelmente fiel ao dispositivo de Daniell (Figura 53) é mostrada na subseção “células voltaicas”. Nela, o envoltório da pilha é um cilindro de cobre, enquanto em outros livros os autores retratam recipientes de vidro. Essa é a única pilha detalhada por Partington (1966), e é utilizada como exemplo de células voltaicas em geral.



**Figura 53:** A célula de Daniell. Destaque para os compartimentos nos quais o sulfato de cobre sólido é depositado, bastante semelhantes ao dispositivo original. Outro aspecto que chama a atenção é que o envoltório externo é descrito como sendo feito de cobre, assim como no dispositivo original de Daniell.

**FONTE:** Partington (1966).

No início do capítulo sobre eletroquímica, o autor faz uma contextualização histórica sobre a pilha de Volta e os trabalhos posteriores de Carlisle, Nicholson, Wollaston e Davy<sup>14</sup>. Além de ser o único livro da amostra analisada que aborda a pilha de Daniell de forma fiel ao dispositivo original, também é o único que faz uma abordagem histórica do conteúdo. Esse fato não chega a surpreender, considerando que Partington se notabilizou como um importante historiador da química. Por outro lado, seu livro não apresenta contextualização das aplicações das pilhas, diferente de outros livros da época. Além de células voltaicas, o capítulo de eletroquímica aborda conteúdos sobre eletrólise, série eletroquímica e mobilidade iônica.

Observa-se em Partington (1966) que o modelo didático da pilha de Daniell está relacionado a conteúdos, ou seja, tem uma função elucidativa e explicativa e, ao mesmo tempo, preserva aspectos essenciais do dispositivo descrito nas fontes primárias.

#### **4.4 Século XXI: o dispositivo de eletrodos independentes com ponte salina**

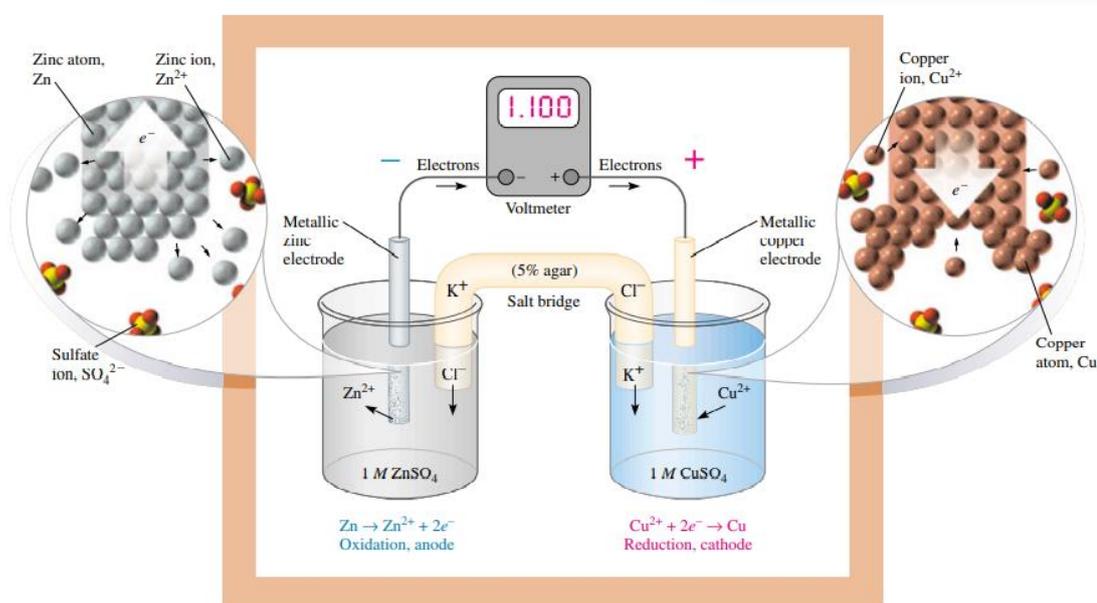
Para efeito de comparação, são analisados a seguir quatro livros de química geral utilizados no século XXI, publicados nos anos 2000-2010. Neles, observa-se uma regularidade nos conteúdos de eletroquímica e também a qual conteúdo a representação da assim chamada pilha de Daniell está associada: células voltaicas. Todos os livros analisados abordam os mesmos conteúdos, sendo que apenas a ordem pode variar: equações de oxirredução e seu balanceamento, células voltaicas (ou galvânicas), células eletrolíticas/eletrólise, potenciais padrão e f.e.m., equação de Nernst, baterias e pilhas comerciais (recarregáveis ou não). Nota-se a variedade de conteúdos do campo da físico-química incorporados ao tema. São apresentados diversos dispositivos mais modernos (como células de combustível, por exemplo), mas o modelo didático das células voltaicas continua a ser utilizado para explicar conceitos basilares ao entendimento de todo e qualquer dispositivo mais complexo.

---

<sup>14</sup> A partir da pilha de Volta houve um esforço coletivo e deliberado para criar dispositivos capazes de produzir e armazenar eletricidade de forma que se pudesse utilizá-la com maior eficiência. Nota-se também a utilização da eletricidade como um artifício para a investigação da matéria. Anthony Carlisle (1768-1840) e William Nicholson (1753-1815) utilizaram a pilha elétrica para a decomposição da água, contribuindo para o desenvolvimento da eletrólise. William Hyde Wollaston (1766-1828) criou um dispositivo mais duradouro que a pilha de Volta. Humphry Davy, em 1807, utilizando a eletricidade conseguiu decompor a potassa e a soda, isolando assim pela primeira vez as substâncias simples potássio e sódio. No ano seguinte, também fazendo uso de métodos eletroquímicos, Davy obteve as substâncias simples magnésio, cálcio, estrôncio e bário (IHDE, 1984; BUCI, PORTO, 2019).

A representação para a pilha é relativamente simples, e feita de modo a sugerir uma observação fenomenológica enquanto o dispositivo está em funcionamento – diferente das pilhas e baterias comerciais, que são seladas e não permitem notar nada visualmente que possa ser correlacionado à oxirredução. Isso seria uma das razões para a permanência desse modelo didático nos livros.

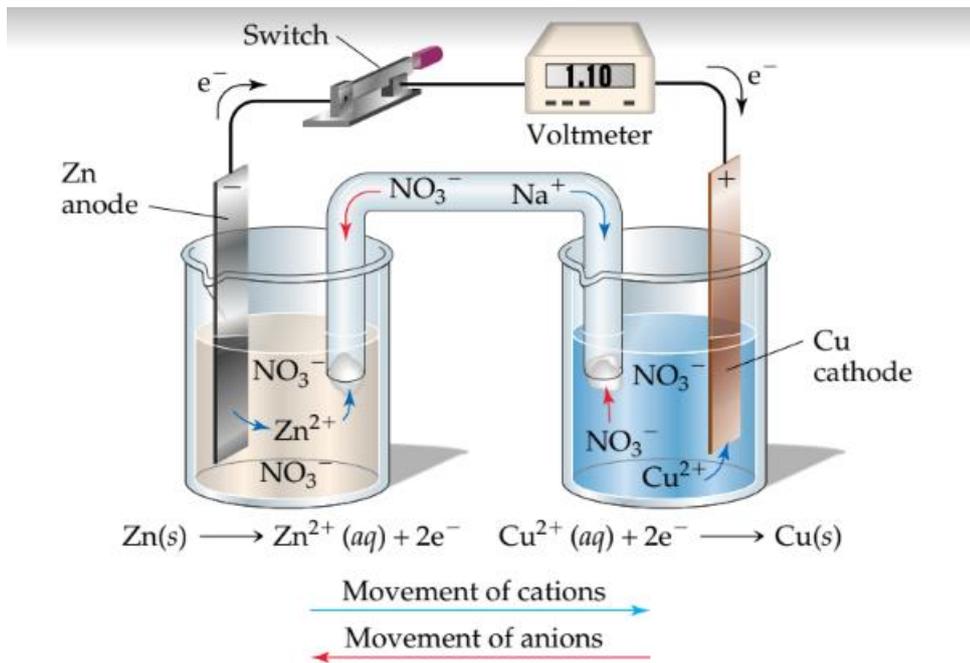
A Figura 54 é a representação da pilha de Daniell apresentada no livro de Whitten *et al.* (2000).



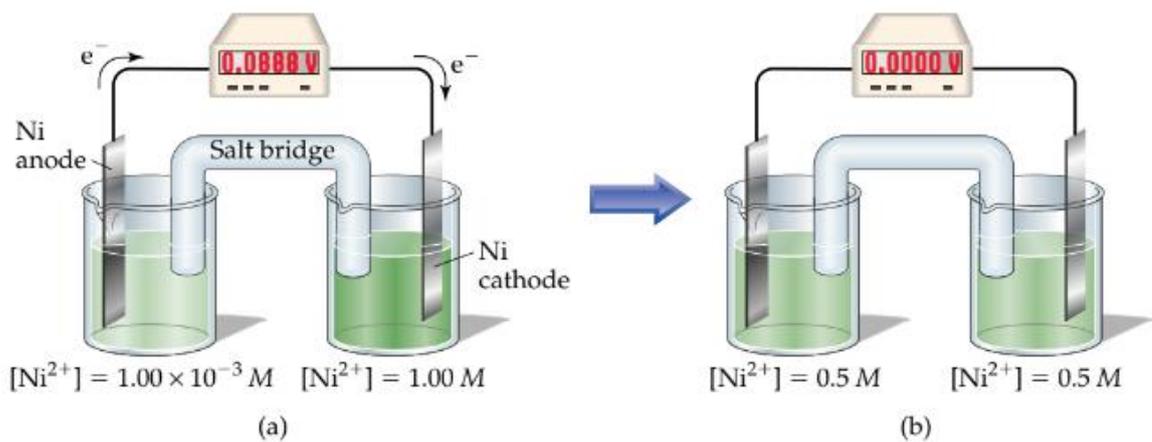
**Figura 54:** A pilha de Daniell. **FONTE:** Whitten *et al.* (2000).

Nota-se, nessa representação e também em outras reproduzidas adiante, que se busca incluir representações macroscópicas e submicroscópicas na mesma imagem, para que o leitor ou leitora consiga associar a oxirredução em ambos níveis. Dos quatro livros do século XXI analisados, apenas Whitten *et al.* (2000) atribui a Daniell a autoria do dispositivo. Nos demais, não há menção a qualquer cientista associado à construção desse tipo de dispositivo.

O livro de Brown *et al.* (2002) apresenta a figura de uma célula voltaica de cobre e zinco (Figura 55), associada ao conteúdo de células voltaicas. Uma célula desse tipo é também utilizada para explicar o funcionamento do eletrodo padrão de hidrogênio e como os valores de potenciais padrão de redução foram obtidos em relação a ele. A representação de uma célula voltaica aparece ainda para explicar o funcionamento de pilhas de concentração, constituídas com as mesmas espécies químicas no cátodo e no ânodo, diferindo apenas em suas concentrações (Figura 56).



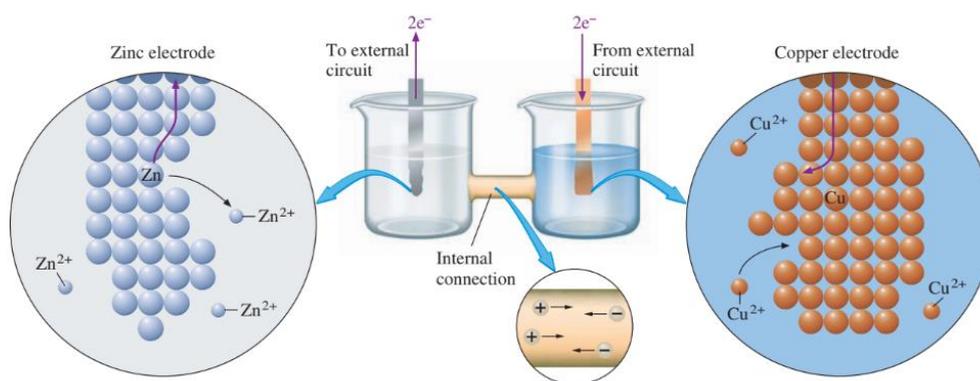
**Figura 55:** Célula voltaica com ponte salina. **FONTE:** Brown *et al.* (2002).



**Figura 56:** Pilha de concentração baseada na reação  $\text{Ni}^{2+}$ -Ni. (a) O fluxo de elétrons existirá enquanto as concentrações forem diferentes em cada semicélula; (b) Quando as concentrações se igualam, a f. e. m. vai a zero. **FONTE:** Brown *et al.* (2002).

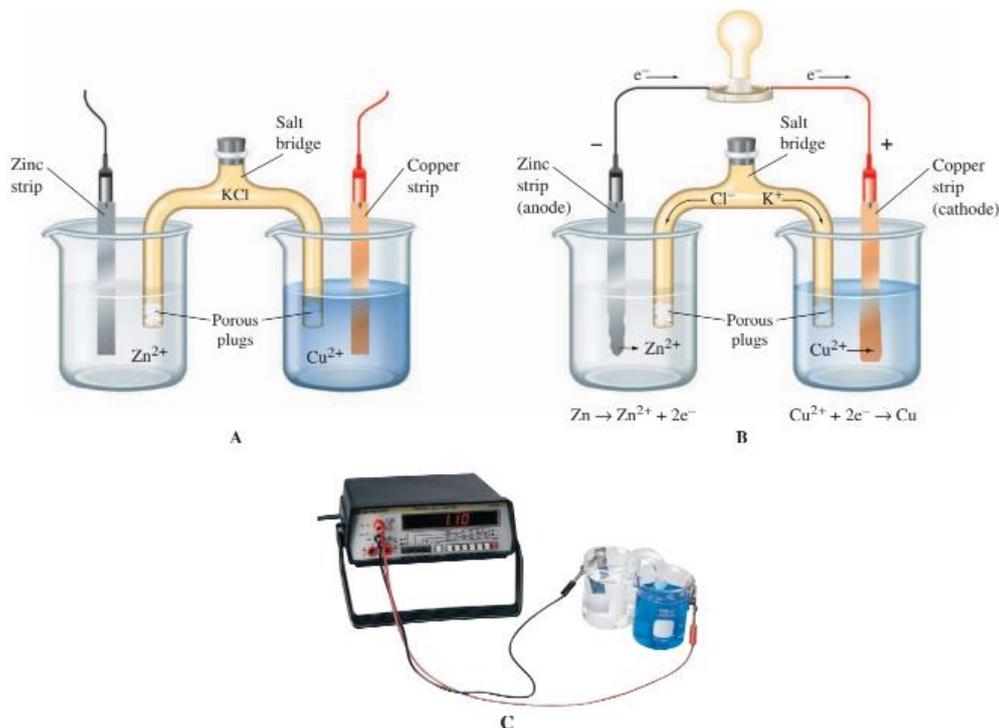
Brown *et al.* (2002) abordam ainda outras pilhas e baterias mais modernas, como as pilhas alcalinas, células de combustível e as baterias de íons de lítio, para finalizar o tópico com o fenômeno da corrosão, correlacionando esses assuntos com as reações de oxirredução.

Ebbing e Gammon (2007) trazem duas representações de células voltaicas, com propósitos distintos: a primeira destaca o que acontece em nível submicroscópico (Figura 57), e a outra apresenta modelos das células voltaicas em conjunto com a fotografia de uma célula desse tipo montada em laboratório (Figura 58) – destacando, portanto, o aspecto fenomenológico macroscópico. Nota-se, em ambas representações, que se procura mostrar que o funcionamento da pilha ocasiona o desgaste do eletrodo de zinco e um acúmulo de cobre metálico sobre o eletrodo de cobre.



**Figura 57:** Visão “atômica” de uma célula voltaica. **FONTE:** Ebbing & Gammon (2007).

A Figura 57 destaca, em sua parte central, o movimento dos íons na ponte salina, ilustrando seu papel na célula voltaica. A Figura 58 mostra uma célula voltaica em diferentes condições: a célula desconectada de um circuito, a célula com um circuito externo acoplado, e uma célula voltaica real conectada a um voltímetro.

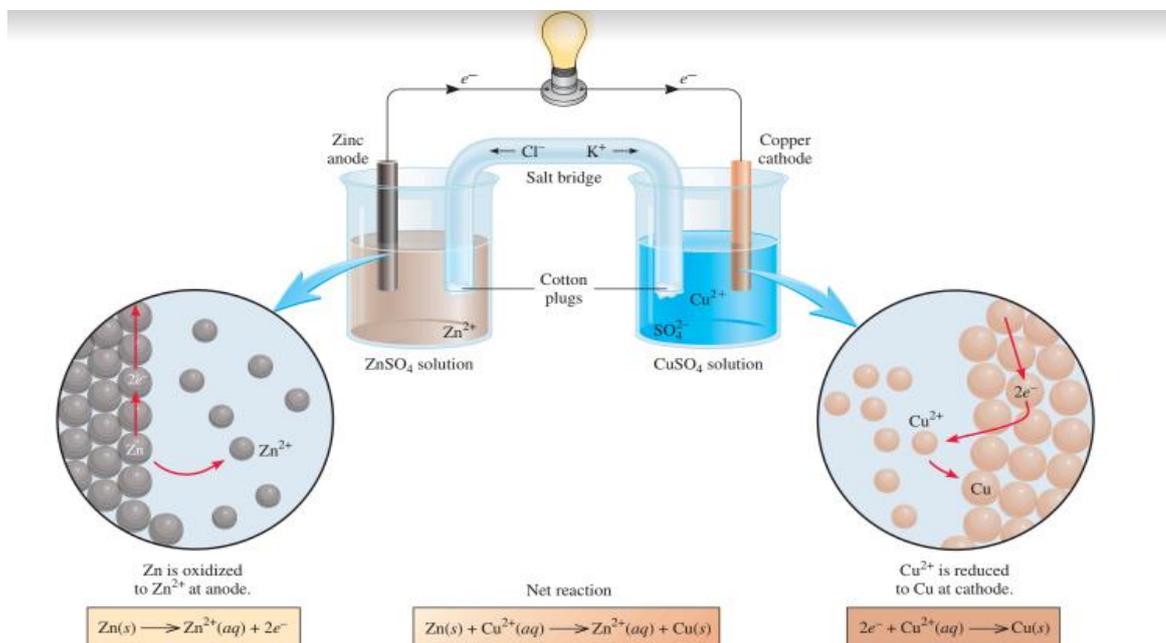


**Figura 58:** Uma célula voltaica de Zn/Cu. (A) não há um circuito externo; (B) quando os dois eletrodos são conectados por um circuito externo ocorre reação química; (C) uma célula similar com a lâmpada substituída por um multímetro. **FONTE:** Ebbing & Gammon (2007).

No livro de Chang (2010), o capítulo de eletroquímica é o 19º de um total de 25. Ao abordar as células voltaicas (ou galvânicas), o autor escreve que esses termos se referem a Alessandro Volta e a Luigi Galvani, atribuindo a eles “a construção das primeiras versões do dispositivo” (p. 841). O texto pode dar a impressão de que Volta e Galvani construíram instrumentos semelhantes à célula ilustrada na sequência (Figura 59) – o que, de fato, não aconteceu. De forma geral, independente da época, os autores dos livros didáticos analisados não dão atenção ao processo histórico de construção e aperfeiçoamento de pilhas, baterias e células voltaicas, focalizando apenas os conteúdos conceituais. Por vezes, a exiguidade das informações de cunho histórico podem transmitir ideias inadequadas sobre o desenvolvimento da ciência.

A Figura 59 é a representação de uma célula voltaica em Chang (2010), que não associa o nome de Daniell à pilha. Nota-se a multimodalidade da representação, que combina a imagem do arranjo experimental (macroscópico), um esquema dos átomos e íons (partículas submicroscópicas) sofrendo oxidação e da redução (que explicaria o desgaste da barra de zinco e o acúmulo de cobre sobre o eletrodo oposto), bem como as equações químicas que descrevem as semirreações e a reação global. Existe também a indicação do sentido dos

elétrons no circuito elétrico externo à pilha. Assim, são diversos níveis de informações em uma única imagem.



**Figura 59:** Célula galvânica. **FONTE:** Chang (2010), p. 841.

As células voltaicas desenvolvidas no século XIX não utilizavam ponte salina: o contato entre os diferentes eletrólitos na bateria constante de Daniell era feito através de uma membrana de origem animal ou da argila porosa que constituía o cilindro interno. Daniell e outros autores contemporâneos observaram que, para obter uma corrente de maior intensidade e mais constante no tempo, era necessário promover a separação física dos eletrodos, mas também permitir o contato das soluções eletrolíticas. Porém, não fez parte do escopo desta dissertação determinar quando e de que forma a ponte salina foi introduzida nesse contexto, o que exigiria outra pesquisa.

## 5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

John Frederic Daniell ficou conhecido por seus trabalhos em eletroquímica, porém sua atuação foi além disso, abrangendo outros trabalhos de pesquisa, de divulgação científica, e o exercício da função de professor no *King's College* de Londres. Durante cerca de uma década, empenhou-se em uma série de tentativas para aperfeiçoar dispositivos capazes de produzir corrente contínua: diferentes metais, ligas e carvão mineral foram testados como eletrodos, sendo que durante muito tempo o par metálico utilizado em sua bateria constante foi platina e zinco. A escolha do par metálico de um dispositivo dessa natureza é um aspecto essencial para obtenção da desejada constância na produção de eletricidade. Nesse sentido, foi importante a influência de outro experimentador, menos conhecido: Snow Harris. O estudo dos textos publicados por Daniell revela que ele citou mais de três dezenas de autores, sendo Faraday e Snow Harris os que mais o influenciaram.

A bateria constante foi importante ferramenta para estudos em eletrólise desenvolvidos tanto por Daniell quanto por Faraday, além de ter sido utilizada por outros experimentadores da época em pesquisas das mais diversas áreas. Também foi utilizada fora do contexto científico, constituindo-se em um marco para o estabelecimento de um sistema de comunicação em escala global, os telégrafos (PRESCOTT, 1876). Houve, nesse caso, uma convergência entre sociedade e ciência muito prolífica. A atual onipresença dos meios digitais de comunicação pode até fazer com que os cidadãos do século XXI não se deem conta de que nem sempre foi assim. O estudo de caso histórico aqui realizado pode contribuir para a compreensão da importância da pilha de Daniell e da pilha de gravidade para a história da comunicação.

Infelizmente, é difícil levar para a sala de aula, seja do ensino médio ou superior, toda a complexidade do processo de colaboração e de comunicação entre pares que resultou, ao longo de anos, no desenvolvimento da bateria constante e em suas aplicações. Nada disso pode ser concebido pelos estudantes quando se deparam, nos livros, apenas com uma imagem que representa um modelo didático da pilha de Daniell. Entretanto, por mais que o currículo seja extenso e que o conhecimento histórico sobre esse episódio possa ser restrito entre os professores e professoras de química, todos e todas sabemos que a pilha de Daniell é uma célula voltaica, como se vê em legendas das ilustrações em livros didáticos (SANTOS *et al.*, 2016; CISCATO *et al.*, 2016). É possível correlacionar o dispositivo do século XIX com as

pilhas e baterias que os alunos e alunas conhecem, pelas semelhanças entre as partes que os constituem, e fazer distinções utilizando as próprias imagens que os livros didáticos trazem.

Diferente do que se poderia pensar em um momento inicial, observou-se que, desde o começo do século XX, a pilha de Daniell foi apresentada em livros de química geral com modificações significativas em relação ao dispositivo original. A eletroquímica naturalmente levou certo tempo para se consolidar como conteúdo dos cursos universitários, e os livros didáticos mais antigos da amostra analisada não tinham capítulos exclusivos sobre esse assunto. Neles, os conteúdos relacionados ao modelo didático de Daniell eram vários: propriedades dos metais, reações de oxirredução, força eletromotriz, células voltaicas, entre outros. Independente do conteúdo de eletroquímica que o livro trazia, o modelo atribuído a Daniell – ou, pelo menos, características desse modelo, como o par metálico Zn/Cu – sempre esteve presente. Isso sugere que esse modelo didático teve, e ainda tem, grande versatilidade no ensino de eletroquímica.

Além disso, foi possível notar que não houve consenso entre os autores de livros didáticos sobre o que é a pilha de Daniell, que foi considerada por alguns autores como sendo a pilha de gravidade – cujo destaque pode ser compreendido por sua importância para a telegrafia. Entretanto, a investigação histórica mostra que a pilha de Daniell não era uma pilha de gravidade. Isso sugere que, com o passar do tempo, o nome de Daniell passou a ser associado a qualquer dispositivo que produzisse eletricidade a partir dos componentes Zn/Zn<sup>2+</sup> e Cu<sup>2+</sup>/Cu. Embora os modelos didáticos de pilhas Zn/Zn<sup>2+</sup>//Cu<sup>2+</sup>/Cu para o ensino de eletroquímica tenham sido muito difundidos como pilha de Daniell, a maioria dos autores de livros didáticos parecem desconhecer como era o dispositivo original e o que levou a seu desenvolvimento – ou não consideram esses aspectos relevantes, tendo em vista seus objetivos de ensino.

Ao analisar os livros didáticos dos anos 2000 e as imagens encontradas na internet (Figura 01), nota-se haver praticamente um consenso em torno do modelo didático da pilha com ponte salina – um componente que não foi utilizado por Daniell. Outros anacronismos ocorrem ao se fazer a associação desse modelo com a pilha original de Daniell, como, por exemplo, a inclusão da lâmpada elétrica (inventada somente em 1879) no circuito para evidenciar a passagem de corrente elétrica.

Os avanços nas técnicas de editoração e impressão permitiram que os livros didáticos incluíssem representações das pilhas cada vez mais elaboradas e carregadas de informações.

Uma das razões para a preferência pelos modelos com dois recipientes separados, ligados pela ponte salina, provavelmente reside na possibilidade de enfatizar a ocorrência de uma “semirreação” em um dos recipientes e a outra “semirreação” no outro recipiente. Por outro lado, isso pode conduzir a concepções alternativas, como a de que existem “semirreações” isoladas, ou que é possível ter uma oxidação sem a simultânea redução de outra espécie química (WALANDA *et al.*, 2017).

Por fim, esta pesquisa nos provocou uma reflexão sobre o ensino de química como um todo: em que medida os modelos didáticos estão dissociados dos eventos, dispositivos ou conceitos científicos que os inspiraram? Quais as consequências dessa dissociação para o ensino desses conteúdos? Sugerimos que ensinar sob a perspectiva histórica pode ser muito frutífero para recuperar conhecimentos que podem estar perdidos. Além disso, é possível que o interesse e o envolvimento de todos e todas que fazem parte do processo de ensinar e de aprender química se tornem mais efetivos.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO-DÍAZ, J. A.; GARCÍA-CARMONA, A.; ARAGÓN, M. Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. **Educación Química**, v. 28, p. 140-146, 2017.

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. *et al.* A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. *In:* ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (Orgs.) **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Livraria da Física/Educ/Fapesp, p. 49-73, 2005.

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **O que é história da ciência**. São Paulo: Brasiliense, 1994.

ANÔNIMO. Obituary notices of fellows deceased – Between 30th Nov. 1865 and 30th Nov. 1867. Sir William Snow Harris. **Proceedings of the Royal Society of London**, vol. 16. London: Taylor and Francis, 1868, p. xviii-xxii.

BARBOSA, L.; PEREIRA NETO, A. Ludwik Fleck (1896-1961) e a translação do conhecimento: considerações sobre a genealogia de um conceito. **Saúde em Debate**, v. 41, p. 317-329, 2017.

BOCCHI, N. *et al.* Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**, n. 11, p. 3-9, 2000.

BOULABIAR, A. *et al.* A historical analysis of the Daniell cell and eletrochemistry teaching in French and Tunisian textbooks. **Journal of Chemical Education**, v. 81, n. 5, p. 754-757, 2004.

BOYD, J. P. **Triumphs and wonders of the 19th century**, a volume of original, historic and descriptive writings showing the many and marvellous achievements which distinguish an hundred years of material, intellectual, social and moral progress. Philadelphia: A. J. Holman & Co., 1901.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. **Programas do Livro**. Disponível em: <<http://www.fnnde.gov.br/programas/programas-do-livro>>. Acesso em: 05 jul. 2019.

BUCCI, J. R.; PORTO, P. A. Humphry Davy e a natureza metálica do potássio e do sódio. **Química Nova na Escola**, v. 41, n. 4, p. 344-350, 2019.

BURNS, D. T. The state of chemistry in 1841. London Chemists and Chemistry, prior to the formation of the Chemical Society in 1841. **Analytical Proceedings**, v. 30, p. 334-337, 1993.

CARNEIRO, M. H. S. *et al.* Livro didático inovador e professores: uma tensão a ser vencida. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 7, n. 2, p. 101-113, 2005.

CHOPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e Pesquisa**, v. 30, n. 3, p. 549-566, 2004.

CONDÉ, M. L. L.; SALOMON, M. **Alexandre Koyré: história e filosofia das ciências**. Belo Horizonte: Fino Traço Editora, 2015.

CONDÉ, M. L. L. **Um papel para a história: o problema da historicidade da ciência**. Curitiba: Editora UFPR, 2017.

CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A Relevância da Epistemologia de Mário Bunge para o Ensino de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, p. 100-125, 2002.

DAINTITH, J.; MITCHELL, S.; TOOTILL, E. (Ed.) **Biographical Encyclopedia of Scientists**. New York: Facts on File, 1981.

DANIELL, J. F. **An Introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view which concur to produce chemical phenomena**. London: John W. Parker, St. Martin's Lane, 1839a.

DANIELL, J. F. **An Introduction to the study of chemical philosophy: being a preparatory view which concur to produce chemical phenomena – second edition revised and enlarged**. London: Marrison & Company Printers, St. Martin's Lane, 1843.

DANIELL, J. F. **On voltaic combinations. In a letter addressed to Michael Faraday, D. C. L., F. R. S., Fullarian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F. R. S., Prof. Chem. in King's College, London (1836a)**. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1836.0012>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

DANIELL, J. F. **Additional observations on voltaic combinations. In a letter addressed to Michael Faraday, D. C. L., F. R. S., Fullarian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F.R.S., Prof. Chem. in King's College, London (1836b)**. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1836.0013>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

DANIELL, J. F. **Further observations on voltaic combinations. In a letter addressed to Michael Faraday, Esq. D. C. L., F. R. S., Fullarian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris, Petersburg, &c. By J. F. Daniell, F. R. S., Prof. Chem. in King's College, London (1837)**. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspl.1830.0285>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

DANIELL, J. F. **Fifth letter on voltaic combinations, with some account of the effects of a large constant battery. Addressed to Michael Faraday Esq. D. C. L., F. R. S., Fullarian Prof. Chem. Royal Institution, Corr. Memb. Royal & Imp. Acadd. of Science, Paris,**

**Petersburgh, &c. By J. F. Daniell, F. R. S., Prof. Chem. in King's College, London.** (1839b). Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1839.0007>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

ECHEVERRÍA, A. R. *et al.* Livro didático: análise e utilização no ensino de química. *In:* MALDANER, O. A.; SANTOS, W. L. P. (Orgs.). **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2010, p. 263-286.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **John Frederic Daniell: British Chemist**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/John-Frederic-Daniell>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

FERNANDES, M. A. M.; PORTO, P. A. Investigando a história da ciência em livros didáticos de química geral para o ensino superior. **Química Nova**, v. 35, p. 420-429, 2011.

FLECK, L. **Gênese e Desenvolvimento de um Fato Científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FRANCISCO Jr., W. E.; YAMASHITA, M. Explorando saberes populares na formação inicial de professores de química: possibilidade para a inserção da história e filosofia das ciências. **Revista Techné, Episteme y Didaxis: TED**, no. extra, p. 317-323, 2014.

GAVROGLU, K. **O passado das ciências como história**. Porto: Porto Editora, 2013.

GOLD, V. Samuel Taylor Coleridge and the appointment of J. F. Daniell, F. R. S., as Professor of Chemistry at King's College London. **Notes and Records of the Royal Society of London**, v. 28, n. 1, p. 25-29, 1973.

GOODAY, G. *et al.* Does Science Education Need the History of Science? **Isis**, v. 99, p. 322-330, 2005.

HIGHTON, E. **The Electric telegraph: its history and progress**. London: John Weale, 1852.

HOMRICH, A. M. *et al.* Alimentação e o ensino de química: uma análise de livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018. **Química Nova na Escola**, v. 41, p. 108-116, 2019.

HOTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: an Analysis of Obstacles. **Science & Education**, v. 20, p. 293-316, 2011.

HUUDERMAN, A. A. **The worldwide history of telecommunications**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.

IHDE, A. J. **The development of modern chemistry**. New York: Dover, 1984.

JAMES, F. A. L. John Frederic Daniell (1790-1845). **Oxford Dictionary of National Biography**. Disponível em: <<https://www.oxforddnb.com/view/10.1093/ref:odnb/9780198614128.001.0001/odnb-9780198614128-e-7124?rskey=TNTIRr&result=1>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. A garrafa de Leiden em uma perspectiva histórica da ciência: replicando experimentos históricos e suas alternativas com materiais de baixo custo. **Física na Escola**, v. 16, p. 36-43, 2018.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 24, p. 173-184, 2006.

KOCHER, J. M. Das redes telegráficas às telefônicas: delineando uma evolução. **Anais Scientiarum Historia VII**, v. 1, s.p., 2014a.

KOCHER, J. M. Cabos submarinos no século XIX: considerações técnicas e econômicas. **Anais Eletrônicos do 14º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia – 14º SNHCT**. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2014b.

KOCHER, J. M. **Telegrafia no século XIX: ciência e técnica no contexto da industrialização**. Dissertação: Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014b.

KOTZ, J. *et al.* **Química Geral e Reações Químicas**, v. 2. 9a. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

KRAGH, H. **Introdução à historiografia da ciência**. Porto: Porto Editora, 2001.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino de ciências. **São Paulo em Perspectiva**, v. 14, p. 85-93, 2000.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 12ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

LEITE, V. M. *et al.* Obstáculos epistemológicos em livros didáticos: um estudo das imagens de átomos. **Candombá – revista virtual**, v. 2, p. 72-79, 2006.

LEITE, H. S. A.; PORTO, P. A. Análise da abordagem histórica para a tabela periódica em livros de química geral para o ensino superior usados do Brasil no século XX. **Química Nova**, v. 38, p. 580-587, 2015.

LEONARDO, A. J. F. *et al.* A telegrafia eléctrica nas páginas de “O Instituto”, revista Acadêmica de Coimbra. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, p. 2601-1 a 2601-13, 2009.

LIMA, M. E. C.; SILVA, P. S. Critérios que professores de química apontam como orientadores da escolha do livro didático. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 12, p. 121-136, 2010.

LOGUERCIO, R. Q. A dinâmica de analisar livros didáticos com professores de química. **Química Nova**, v. 24, p. 557-562, 2001.

LOGUERCIO, R. Q.; DEL PINO, J. C. Em defesa do filosofar e do historicizar conceitos científicos. **Revista História da Educação**, v. 11, n. 23, p. 67-96, 2007.

LOPES, A. R. C. Livros didáticos: Obstáculos verbais e substancialistas ao aprendizado da ciência química. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 74, n. 177, p. 309-334, 1993.

MACHADO, M. A. D. *et al.* Para além da fixação dos conteúdos: uma proposta de historicidade como estratégia de transposição didática no estudo da física na formação docente na licenciatura em ciências biológicas. **Inter-Ação: Revista da Faculdade de Educação UFG**, v. 4, p. 671-690, 2016.

MAIA, J.O. *et al.* O livro didático de química nas concepções de professores do ensino médio da região sul da Bahia. **Química Nova na Escola**, v. 33, p. 115-124, 2011.

MARTINS, E. F. *et al.* O Estado, o mercado editorial e o professor no processo de seleção dos livros didáticos. **Estudos e Avaliação Educacional**, v. 20, n. 42, p. 11-26, 2009.

MARTINS, L. A-C. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência e Educação**, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, R. A. Alessandro Volta e a Invenção da Pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4, p. 823-835, 1999.

MARTINS, R. A. Ciência *versus* historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre História da Ciência. *In*: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (Orgs.) **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Livraria da Física/Educ/Fapesp, 2005, p. 115-145.

MARTINS, R. A. Como não escrever sobre História da Física – um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 113-129, 2001.

MARTORANO, S. A. A. As concepções de ciência em livros didáticos de química, dirigidos ao ensino médio, no tratamento da cinética química no período de 1929 a 2004. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 341-355, 2009.

MELO, A. P.; ROCHA, D. C. Reflexões sobre a importância da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências. **Revista Espaço Acadêmico**, n. 192, p. 69-77, 2017.

MERTENS, J. From the lecture room to the workshop: John Frederic Daniell, the constant battery and electrometallurgy around 1840. **Annals of Science**, v. 55, n. 3, p. 241-261, 1998.

MORTIMER, E. F. O ensino de estrutura atômica e de ligação química na escola de 2º grau: drama, tragédia ou comédia? 1988. 359f. Dissertação (Mestrado em Educação). Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1988.

MOURTHÉ JUNIOR, C. A. Resenha – Ludwik Fleck: estilos de pensamento na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 120-124, 2014.

NOGUEIRA, H. S. A.; PORTO, P. A. O conceito de valência em livros didáticos de química geral entre as décadas de 1890 e 1940. **Química Nova**, v. 42, p. 237-248, 2018.

OKI, M. C. M. A eletricidade e a química. **Química Nova na Escola**, n. 12, p. 34-37, 2000.

OWEN, D. The Constant Battery and the Daniell-Becquerel-Grove Controversy. **Ambix**, v. 48, n. 1, p. 25-40, 2001.

PIVARO, G. F.; GIROTTO JÚNIOR, G. O ataque organizado à ciência como forma de manipulação: do aquecimento global ao coronavírus. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1047-1098, 2020.

PORTO, P. A. História e filosofia da ciência no ensino de química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. *In*: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.) **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2010.

PREECE, W. H.; SIVEWRIGHT, M. A. **Telegraphy**. London: Longmans Green, 1876.

PRESCOTT, G. B. **History, theory and practice of the electric telegraph**. Boston: Ticknor and Fields, 1860.

PRESCOTT, G. B. **Electricity and the Electric Telegraph**, 3rd. ed. New York: D. Appleton, 1879.

PULIDO, M. D. **O dualismo eletroquímico de Berzelius**: sua caracterização e presença em livros didáticos de química. 161 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. São Paulo, 2016.

SÁ, M. B. Z.; SANTIN FILHO, O. Relações entre ciência, tecnologia e sociedade em livros didáticos de química. **Acta Scientiarum - Human and Social Sciences**, v. 31, n. 2, p. 159-166, 2009.

SCALCO, K. C. *et al.* Representações presentes nos livros didáticos: um estudo realizado para o conteúdo de ligação iônica a partir da Semiótica Peirceana. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 2, p. 134-142, 2015.

SCHAFER, L.; SCHNELE, T. Los fundamentos de la visión sociológica de Ludwik Fleck de la teoría de la ciencia. *In*: FLECK, L. **La génesis y el desarrollo de un hecho científico**. Madrid: Alianza Editorial, 1986.

SCHNETZLER, R. P. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de química de 1875 a 1978. **Química Nova**, v. 4, n. 1, p. 6-15, 1981.

SILVA, B. O. *et al.* Série histórica da composição química de pilhas alcalinas e zinco-carbono fabricadas entre 1991 e 2009. **Química Nova**, v. 34, n. 5, p. 812-818, 2011.

SILVA, L. C. K. G. Internalismo *versus* externalismo em história da ciência: uma proposta de integração. **Projeto História**, v. 62, p. 388-395, 2018.

SILVA, V. C.; VIDEIRA, A. A. P. Como as ciências morrem? Ataques ao conhecimento na era da pós-verdade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1041-1073, 2020.

SINGER, C. *et al.* **A history of technology**. Volume IV: the industrial revolution, 1750 to 1850. New York: Oxford University Press, 1958.

SISTRUNK, T. O. John Frederic Daniell. **Journal of Chemical Education**, v. 29, n. 1, p. 26-28, 1952.

SJÖSTRÖM, J. *et al.* Didactic Models in Chemistry Education. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 4, p. 910-915, 2020.

SOARES, L. O mecanicismo newtoniano e as bases intelectuais da revolução industrial inglesa. Disponível em:  
[http://www.encontro2012.rj.anpuh.org/resources/anais/15/1338224632\\_ARQUIVO\\_OMecanicismoNewtonianoeasBasesIntelectuaisdaRevolucaoIndustrialInglesa-ANPUH-Rio2012.pdf](http://www.encontro2012.rj.anpuh.org/resources/anais/15/1338224632_ARQUIVO_OMecanicismoNewtonianoeasBasesIntelectuaisdaRevolucaoIndustrialInglesa-ANPUH-Rio2012.pdf).  
Acesso em: ago/2018.

SOUZA, K. A. F. D. *et al.* História do uso do livro didático universitário: o caso do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 873-886, 2011.

SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P. A. Chemistry and Chemical Education Through Text and Image: Analysis of Twentieth Century Textbooks Used in Brazilian Context. **Science & Education**, v. 21, p. 705-727, 2012.

SUN, L. H.; EILPERIN, J. CDC gets list of forbidden words. **The Washington Post**, dez. 2017. Disponível em: <[https://www.washingtonpost.com/national/health-science/cdc-gets-list-of-forbidden-words-fetus-transgender-diversity/2017/12/15/f503837a-e1cf-11e7-89e8-edec16379010\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/national/health-science/cdc-gets-list-of-forbidden-words-fetus-transgender-diversity/2017/12/15/f503837a-e1cf-11e7-89e8-edec16379010_story.html)>. Acesso em: dez. 2020.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. O Bicentenário de Invenção da Pilha Elétrica. **Química Nova na Escola**, n. 11, p. 35-39, 2000.

TOMLINSON, G. William Snow Harris. **Encyclopaedia Britannica**, v. 3, p. 493-494, 2013.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. A história da ciência nos livros didáticos de química no PNLEM 2007. **Ciência & Educação**, v. 18, p. 291-308, 2012.

WALANDA, D. K. *et al.* Misconceptions sequencing the chemical processes in Daniell and electrolysis cells amongst first-year science and mathematics education university students. **Journal of Science Education**, v. 18, p. 113-116, 2017.

## 7.0 ANEXO

Livros didáticos analisados.

- BLAKE, J. C. **General Chemistry Theoretical and Applied**. New York: MacMillan, 1913.
- BRINKLEY, S. R. **Principles of General Chemistry**. 3<sup>rd</sup>ed. New York: MacMillan, 1941.
- BROWN, T. E.; LeMay, H. E.; Bursten, B. E.; Burdge, J. R. **Chemistry: the central science**. 9<sup>th</sup>ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall, 2002.
- CHANG, R. **Chemistry**. 10<sup>th</sup> ed. New York: McGraw Hill, 2010.
- EBBING, D. D.; GAMMON, S. **General Chemistry**. 9<sup>th</sup>ed. Boston: Houghton Mifflin, 2007.
- FREY, P. R. **College Chemistry**. New York: Prentice Hall, 1952.
- HILDEBRAND, J. **Principles of Chemistry**. New York: Norwood Press, 1918.
- HOLMES, H. **General Chemistry**. New York: Macmillan, 1922.
- LUDER, W. F.; VERNON, A. A.; ZUFFANTI, S. **General chemistry**. Philadelphia: Saunders, 1953.
- MACK Jr., E.; GARRETT, A. B.; HASKINS, J. F.; VERHOEK, F. H. **Textbook of chemistry**. 2<sup>nd</sup>. ed. Boston: Ginn, 1956.
- MARKHAM, E. C.; SMITH, S. E. **General Chemistry**. Boston: Houghton Mifflin, 1954.
- McPHERSON, W.; HENDERSON, W. E. **A Course in General Chemistry**. Boston: The Atheneum Press, 1913.
- McPHERSON, W.; HENDERSON, W. E. **An Elementary Study of Chemistry**. 2<sup>nd</sup> ed. Boston: The Atheneum Press, 1917.
- MOLINARI, E. **General and Industrial Inorganic Chemistry**. Philadelphia: P. Blakiston's Son, 1912.
- NEBERGALL, W. N.; SCHMIDT, F. C. **College Chemistry**. Boston: D. C. Heath, 1957.
- NEWELL, L. C. **Descriptive Chemistry**. Boston: D. C. Heath, 1912.
- PARTINGTON, J. R. **General and Inorganic Chemistry**: for university students. London: MacMillan, 1966.
- PAULING, L. **General Chemistry: an Introduction to Descriptive Chemistry and Modern Chemical Theory**. San Francisco: W. H. Freeman, 1947.
- PAULING, L. **General Chemistry**. 3<sup>rd</sup> ed. San Francisco: W. H. Freeman, 1970.

QUAGLIANO, J. V. **Chemistry**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1958.

SCHLESINGER, H. I. **General chemistry**. 4<sup>th</sup> ed. New York: Longmans, Green and Co., 1950.

SMITH, A. **General chemistry for colleges**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: The Century Co., 1916.

TIMM, J. A. **An Introduction to Chemistry: a Pandemic Text**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1932.

WHITTEN, K. W.; DAVIS, R. E.; PECK, M. L. **General Chemistry**, 6<sup>th</sup> ed. Fort Worth: Saunders College, 2000.

YOUNG, L. E.; PORTER, C. W. **General Chemistry: a first course**. New York: Prentice-Hall, 1940.