



As contribuições de Benjamin Franklin para a eletricidade no século XVIII

.....
Breno Arsioli Moura

Centro de Ciências Naturais e Humanas, Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, Brasil
E-mail: breno.moura@ufabc.edu.br
.....

Introdução

Na física, o nome de Benjamin Franklin (1706-1790) (Fig. 1) é usualmente lembrado pelas suas contribuições à eletricidade, especialmente pela criação dos para-raios e pelo famoso experimento da pipa empinada em meio a uma tempestade. Com isso, Franklin marcou seu nome na história como um grande inventor e experimentador, trazendo novas interpretações para os fenômenos elétricos estudados no século XVIII.

Especificamente sobre o experimento da pipa, os relatos são ainda muito comuns nos livros didáticos e de divulgação científica [1]. Eles dão conta de que, em meio a uma forte tempestade, Franklin empinou uma pipa, com uma chave amarrada ao barbante. Com a eletricidade sendo transmitida das nuvens até a chave pelo barbante, ele pôde observar faíscas elétricas e concluir que os raios tinham a mesma natureza da eletricidade produzida

em laboratório. Relatos sobre episódio não são exclusividade do tempo presente. Por exemplo, em um livro de 1882 destinado a ensinar filosofia natural a crianças e jovens estadunidenses, encontramos uma gravura (Fig. 2) mostrando o experimento e a seguinte descrição:

Quem primeiro obteve raios das nuvens? – Dr. Franklin primeiro obteve eletricidade das nuvens de tal maneira a ser capaz de examiná-la e provar que o raio nada mais é que eletricidade.

Como ele fez isso? – Essa descoberta da natureza dos raios foi uma das mais importantes já feitas na ciência e, não obstante, Dr. Franklin a fez simplesmente empinando uma pipa em um temporal com trovões. [2, p. 158]

Porém, é razoável nos perguntarmos: suas únicas contribuições para o estudo da eletricidade foram o experimento da pipa e a invenção dos para-raios? Franklin simplesmente empinou uma pipa em meio a uma tempestade e descobriu que os raios tinham a mesma natureza da eletricidade comum, como sugere o livro de 1882? O estudo da história da ciência nos fornece uma boa resposta a essas questões. Franklin fez muito mais que apenas propor um experimento ou inventar um dispositivo. Imerso em um contexto em que as pesquisas em eletricidade estavam em ascensão, ele propôs a existência de um único fluido elétrico e se esforçou em estabelecer suas propriedades principais. A partir disso, procurou explicar os mais variados fenômenos elétricos estudados na época, expandindo ideias já existentes e criando outras inteiramente novas. Nesse cenário, o experimento da pipa e a ideia dos para-raios fizeram parte de um corpo

Em muitos manuais escolares, Benjamin Franklin é retratado única e exclusivamente como o descobridor da natureza elétrica dos raios, especialmente por meio de seu famoso experimento da pipa. Porém, estudos historiográficos mostram como suas contribuições foram muito mais amplas e que o experimento da pipa desempenhou um papel quase coadjuvante em meio a tantas ideias importantes. Neste artigo, discuto algumas de suas principais teorias, no intuito de esclarecer como Franklin auxiliou a aprimorar os estudos em eletricidade do século XVIII.



Figura 1: Benjamin Franklin por volta de 1785, em pintura de Joseph Siffred Duplessis (1725-1802).



Figura 2: Gravura ilustrando o experimento da pipa. Fonte: Ref. [2, p. 159].

maior de conhecimentos sobre a eletricidade, que compreendeu outros elementos tão importantes quanto esses.

Neste artigo, discutirei algumas das principais contribuições de Franklin para o desenvolvimento da eletricidade no século XVIII: a concepção de matéria e atmosfera elétricas, o poder das pontas, a eletrização positiva e negativa, o funcionamento da garrafa de Leiden e os experimentos da guarita – relacionado à invenção dos para-raios – e da pipa. Essa discussão será precedida por duas pequenas seções sobre o próprio Franklin e seu envolvimento com a filosofia natural e sobre os estudos em eletricidade no período. Pretende-se, a partir disso, oferecer subsídios para uma abordagem histórica mais adequada sobre Franklin em contextos de sala de aula, bem como proporcionar uma compreensão ampla de suas ideias acerca dos fenômenos elétricos. Isso é especialmente relevante no contexto brasileiro, uma vez que faltam materiais em português sobre o autor.¹

Os estudos em eletricidade do início do século XVIII

Franklin começou a se envolver com eletricidade por volta da década de 1740. Nessa época, os estudos na área cresciam em número e em qualidade, aprimorando o pouco que se sabia até então. Quando Franklin iniciou seus estudos sobre os fenômenos elétricos, outros filósofos naturais já tinham descrito algumas de suas principais propriedades e apresentado alguns conceitos para explicá-los. Abordarei as contribuições de alguns desses filósofos naturais a seguir.

Um dos filósofos naturais do início do século XVIII que estudou eletricidade foi Stephen Gray (1666–1736), que escreveu vários artigos sobre o tema entre as décadas de 1700 e 1730. Em um deles, publicado em 1731, Gray relatou a descoberta de que a eletricidade poderia ser transmitida de um corpo a outro e a existência de corpos mais propensos a transmiti-la que

outros. Nesse mesmo texto, ele descreveu o famoso experimento de um garoto suspenso atraindo pequenos materiais por diferentes partes do seu corpo, quando em contato com um tundo de vidro eletrizado (Fig. 3) [3].

Na mesma época de Gray, surgiram os estudos de Charles Du Fay (1698–1739). Du Fay reconheceu a repulsão como uma propriedade característica da eletricidade e descreveu o mecanismo ACR (atração-contato-repulsão). Ele propôs a existência de dois tipos de eletricidade: vítrea e resinosa. Como os nomes sugerem, a eletricidade vítrea poderia ser obtida quando o vidro era atritado, enquanto a resinosa estava presente em resinas como a copal. Corpos com a mesma eletricidade se repeliam e com eletricidades diferentes se atraíam [5]. Mais tarde, outros filósofos naturais, como John Canton (1718–1772), mostraram que o tipo de eletrização não dependia apenas do corpo atritado, mas também daquele que atritava.

Outro filósofo natural que se destacou por suas contribuições à eletricidade foi William Watson (1715–1787). Na década de 1740, ele reportou aos colegas da *Royal Society* de Londres os resultados de vários experimentos elétricos e, entre 1745 e 1746, publicou o *Experiments and Observations tending to illustrate the Nature and Properties of Electricity* [Experimentos e observações buscando ilustrar a natureza e as propriedades da eletricidade]. No ano seguinte, o texto ganhou a famosa *Sequel* [Sequência], que ampliou os estudos do material anterior. Nesses trabalhos, Watson discutiu vários fenômenos elétricos conhecidos, relatando, por exemplo, a diferença nas descargas obtidas por corpos pontudos e corpos embotados [6, p. 298].

Na França, um dos herdeiros dos estudos de Du Fay foi Jean-Antoine Nollet (1700–1770). Ele desenvolveu o conceito de um único fluido elétrico, que saía e entrava nos corpos eletrizados, como um fluxo. Um corpo eletrizado emitiria ao mesmo tempo correntes “afluente” e

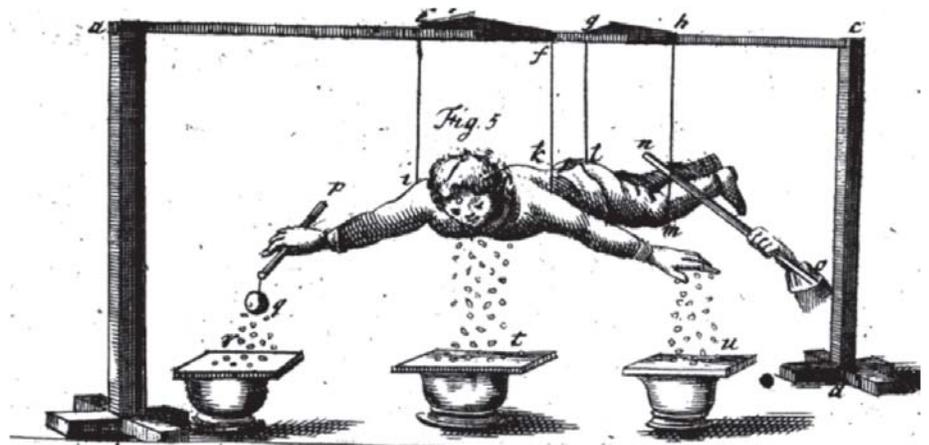


Figura 3: O famoso experimento de Gray, ilustrado em trabalho posterior à publicação de seus artigos. Fonte: Ref. [4].

“efluente” do fluido elétrico, as quais, ao interagir com outras correntes de diferentes intensidades em outros corpos, ocasionariam os fenômenos elétricos conhecidos [7]. O famoso experimento da pena flutuando ao redor de um tubo de vidro atritado seria facilmente explicado por esse princípio. A atração seria ocasionada pela corrente afluyente. Ao tocar o tubo, a pena seria estimulada a emitir suas próprias correntes, originando a repulsão pelas correntes da pena e do tubo.

Na mesma década de 1740, uma importante descoberta foi feita. Tratou-se do instrumento que ficou conhecido como “garrafa de Leiden”. A construção da garrafa foi guiada pelos experimentos de Georg Mathias Bose (1710-1761), que havia eletrizado a água dentro de um copo de vidro e extraído faíscas dela. Buscando aprimorar os efeitos observados por Bose, Ewald Jürgen von Kleist (1700-1748), alemão, e Pieter von Musschenbroek, holandês (1692-1761), em duas situações distintas [8, 9],² desenvolveram o que viria a ser chamado de garrafa de Leiden.³ Basicamente, a garrafa funcionava como um tipo primário de capacitor, podendo acumular eletricidade por um longo tempo. Em suas configurações iniciais, ela consistia de um recipiente de vidro preenchido com água e envolvido interna e externamente por um material condutor. Um fio que saía da garrafa conectava o revestimento condutor interno com o gerador de eletricidade (Fig. 4).

A invenção da garrafa de Leiden foi mais um fator que impulsionou os estudos na área, pois muitos queriam entender como um dispositivo tão simples poderia armazenar eletricidade por um tempo tão longo. Nos anos seguintes, vários filósofos naturais conseguiram descrever as principais propriedades da garrafa e os efeitos que ocasionava [6, p. 316-321]. Nesse momento, apareceram os primeiros estudos de Franklin.

Benjamin Franklin e a eletricidade

Os primeiros passos de Franklin na eletricidade foram dados em meados de 1743. Nesse ano, ele assistiu a conferências do reverendo escocês Archibald Spencer (1698?-1760), que discutiu, dentre outros assuntos, alguns fenômenos elétricos. Dois anos mais tarde, Peter Collinson (1694-1768), frequente colaborador de Franklin e seus companheiros estadunidenses, enviou como presente uma descrição de “experimentos alemães” e um tubo de vidro com instruções para realizar alguns fenômenos elétricos. Os “experimentos alemães” traziam, principalmente, as ideias de Bose. Inspirado por esses

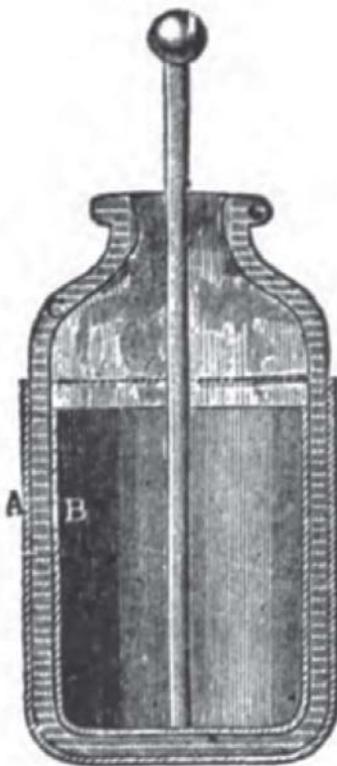


Figura 4: Típica configuração de uma garrafa de Leiden, com seus dois revestimentos de condutor (A e B), produzida anos mais tarde de sua invenção. Nos modelos iniciais, a garrafa era preenchida com água, ligando o fio com o revestimento interno. Fonte: Ref. [10, p. 86].

eventos, Franklin e seus companheiros começaram a realizar suas próprias investigações em eletricidade.

Em 1747, Franklin enviou suas primeiras comunicações sobre eletricidade a Collinson. Nelas, discutiu aqueles que se tornariam seus principais conceitos, tais como: teoria de um único fluido elétrico, atmosfera elétrica, poder das pontas e a eletrização positiva e negativa. Nos anos seguintes, Franklin continuou a enviar cartas a Collinson, uma delas contendo o que provavelmente foi seu mais importante ensaio em eletricidade, o texto *Opinions and conjectures concerning the properties and effects of the electrical matter* [Opiniões e conjecturas sobre as propriedades e efeitos da matéria elétrica], escrito em 1749. Nesse trabalho, Franklin aprofundou conceitualmente suas ideias e apresentou experimentos novos, incluindo o famoso experimento da guarita, desenvolvido para demonstrar que as nuvens em tempestades estavam eletrizadas. Resumi-

A a garrafa de Leiden funcionava como um tipo primário de capacitor, podendo acumular eletricidade por um longo tempo

damente, o experimento consistia em erguer uma longa haste metálica no topo de um prédio alto e extrair a eletricidade de nuvens em tempestades. Ele tinha esse nome por conta da guarita em que o observador ficava. Dois anos mais tarde, Collinson reuniu em um livro todas as comunicações que Franklin lhe enviara, sob o título *Experiments and observations on electricity, made at Philadelphia* [Experimentos e observações em eletricidade, feitos na Filadélfia], publicado em 1751.⁴ O livro teve outras cinco edições, sendo a quarta a primeira a ter sido organizada pelo próprio Franklin e a utilizada como fonte para as citações neste artigo [12].

A publicação do *Experimentos e observações* em 1751 tornou o trabalho de Franklin mais divulgado na Europa. Na Grã-Bretanha, seus escritos já eram relativamente conhecidos, uma vez que Collinson comunicava frequentemente aos membros da *Royal Society* de Londres – da qual fazia parte – os textos do estadunidense. Na França, o livro fez bastante sucesso, por conta, dentre outros motivos, da reprodução de experimentos descritos por Franklin, em especial o experimento da guarita (Fig. 5).

A repercussão de suas ideias o levou a receber a medalha Copley da *Royal Society* em 1753, por suas contribuições à eletricidade, e a tornar-se membro dessa sociedade, em 1756. Ao final dessa década, Franklin não produziu nenhum outro trabalho relevante na área, dedicando-se a outros assuntos. Mesmo assim, continuou recebendo homenagens e desfrutou de grande prestígio dentre os filósofos naturais. Uma de suas últimas honrarias foi a eleição como membro estrangeiro da *Académie Royale des Sciences*, em 1772. Quando morreu, em 1790, era uma figura ilustre e conhecida, ganhando várias biografias, relatos e reverências póstumas.

Principais conceitos e experimentos

Nesta seção, apresento os principais conceitos e experimentos em eletricidade desenvolvidos por Franklin e publicados no *Experimentos e observações*. Busco apontar não apenas seus aspectos favoráveis, mas também suas falhas, sempre à luz do contexto em que foram produzidos. Isso significa que a análise das ideias de Franklin procura evitar anacronismos e interpretações distorcidas que vangloriem o autor em detrimento de um estudo mais cuidadoso de suas contribuições.

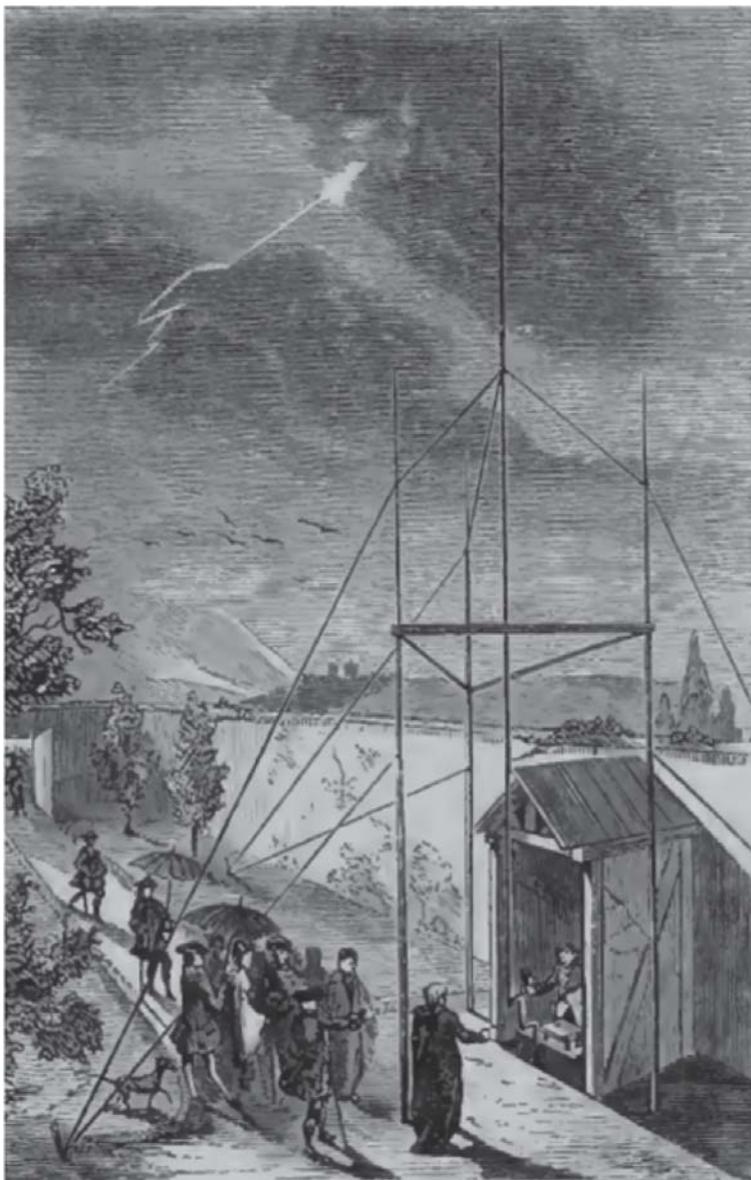


Figura 5: Reprodução do experimento da guarita na França, em 1752. Por meio desse experimento, era possível atestar a natureza elétrica dos raios em tempestades. Pela figura, é possível notar o observador dentro da guarita e a longa haste metálica. Fonte: Ref. [13, p. 291].

Para facilitar a leitura da discussão abaixo, que envolve termos e ideias do século XVIII, listo algumas informações importantes:

- No início do século XVIII, o eletromagnetismo enquanto área de estudo não existia. Fenômenos da eletricidade e do magnetismo eram estudados por vias diferentes, embora os filósofos naturais notassem algumas semelhanças entre eles – a atração e a repulsão, por exemplo.
- Não existia o conceito de campo elétrico. A ideia de atmosferas elétricas de Franklin não pressupunha um tipo primordial de campo, pois ela

envolvia a existência de partículas de matéria elétrica ao redor do corpo.

- Nem Franklin nem seus coetâneos pensou em elétrons ou prótons. A ideia de matéria, fluido ou fogo elétrico era semelhante à da matéria que formava os corpos naturais. A eletrização positiva e negativa tinha relação com o excesso ou a falta de matéria elétrica.
- Os objetos isolantes eram chamados de “elétricos”, pois conseguiam ser eletrizados. Consequentemente, objetos condutores eram chamados de “não elétricos”. Na época, o termo “condutor” já existia, mas Fran-

klin chamou objetos desse tipo de “não elétricos”.

A matéria e a atmosfera elétricas

Para Franklin, os fenômenos da eletricidade eram causados pela manifestação de um fluido elétrico elástico, sutil e impossível de ser criado ou destruído. Partículas dessa matéria elétrica se repeliam, mas eram fortemente atraídas pela matéria comum. Por isso, havia matéria elétrica em todos os corpos naturais. A eletrização de um corpo dependeria da ausência ou excesso de fluido elétrico nesses corpos. A garrafa de Leiden seria uma das principais evidências da existência de um tipo particular de matéria, uma vez que ela demonstrava que *algo* poderia ser armazenado, sendo distinto de outras matérias, pelos efeitos que gerava [12, p. 306-309].

Franklin afirmou que os corpos seriam como “esponjas” para a matéria elétrica. Quando fornecíamos a eles um excesso de matéria elétrica, essa não era empurrada para seus interiores, mas ficava ao redor deles, formando o que Franklin denominou de “atmosferas elétricas”. Assim como a água transbordava de uma esponja já cheia, a matéria elétrica excedente “transbordava” ao redor do corpo eletrizado. Daí a analogia com as esponjas. Embora o conceito de atmosferas elétricas também possa ser encontrado em outros filósofos naturais anteriores a Franklin, ele foi o primeiro a empregá-lo para explicar a interação entre corpos eletrizados. Outra contribuição original foi atribuir às atmosferas elétricas a mesma forma do corpo eletrizado que envolvia.

O poder das pontas

O segundo conceito fundamental trabalhado por Franklin foi o poder das pontas. Segundo ele, corpos pontudos – como um punhal ou uma agulha – tinham a propriedade de *extrair* ou *lançar* fluido elétrico de corpos eletrizados. Um dos experimentos descritos por ele envolveu uma bala metálica (de armas de fogo) sobre a boca de um frasco de vidro eletrizado e uma bola de cortiça em contato com ela. Após a eletrização, a bola e a bala se repeliam. Se a ponta de um punhal fosse aproximada, a repelência seria “destruída” e as duas voltavam a se tocar. Nesse caso, Franklin acreditava que a ponta extraía o fluido da bala e da bola, eliminando a repelência. Na segunda carta a Collinson, enviada em 1747, ele discutiu outras variantes, incluindo casos em que as pontas lançavam fluido elétrico e impediam a eletrização dos materiais.

Para mostrar que as pontas lançarão assim como extrairão o fogo elétrico coloque uma agulha longa e afiada sobre a bala [de ferro] e você não poderá eletrizá-la, de modo que a faça repelir a bola de cortiça. Ou coloque uma agulha no final de um cano de uma arma suspenso ou de uma barra de ferro, de modo que ela aponte para além [do cano ou da barra] como uma pequena baioneta. E, enquanto permanece lá, o cano da arma ou a barra não podem, aproximando o tubo à outra extremidade, ser eletrizados, de maneira a dar em uma faísca, [pois] o fogo [elétrico está] continuamente saindo da ponta de forma silenciosa. No escuro, você pode vê-lo fazer a mesma aparição que faz no caso antes mencionado [12, p. 5].

No ensaio *Opiniões e conjecturas*, Franklin forneceu mais detalhes sobre o comportamento do fluido elétrico em corpos pontudos, utilizando como exemplo um corpo em forma de pentágono irregular. Na Fig. 6, extraída do *Experimentos e observações*, notamos que o corpo está rodeado por uma atmosfera elétrica, representada pela parte tracejada.

Para Franklin, a matéria do corpo exercia forte atração pela matéria elétrica, mas a parte mais pontuda da atmosfera – compreendida por L e M – estaria mais distante do corpo, resultando em uma atração menor sobre a matéria elétrica. Atração menor somada à inerente repulsão entre a matéria elétrica fariam com que fosse mais fácil corpos não eletrizados próximos extraí-la, por atração. Ele concluiu:

Nessas considerações, supomos que corpos eletrizados descarregam mais facilmente suas atmosferas em corpos não eletrizados, e a uma maior distância de seus ângulos e pontas que a partir de seus lados lisos. Aquelas pontas descarregarão também no ar, quando o corpo possuir demasiada atmosfera elétrica, sem aproximar qualquer [cor-

po] não-elétrico para receber o que é lançado. Pois, o ar, embora um elétrico per se, ainda tem sempre mais ou menos água e outras matérias não elétricas misturadas a ele, e essas atraem e recebem o que é então descarregado [12, p. 60].

Embora a explicação de Franklin sobre como corpos pontudos eletrizados perderiam facilmente seu fluido elétrico tenha sido elegante e intuitiva, a situação inversa não contou com abordagem semelhante. Franklin buscou comparar como corpos pontudos e embotados não eletrizados extrairiam fluido elétrico de corpos eletrizados, baseando-se em uma analogia com arrancar pelos da crina de um cavalo. Para ele, corpos pontudos extraíam fluido elétrico aos poucos, como se arrancássemos pelo por pelo da crina. Em contrapartida, corpos embotados extraíam fluido elétrico de uma vez só, como se arrancássemos um punhado de pelos da crina em um único momento, ou seja, algo muito mais difícil. Franklin não forneceu outros detalhes, o que sugere a dificuldade em estabelecer uma explicação tão coerente quanto a anterior. Logo após descrever essa ideia, ele reconheceu sua fragilidade:

Essas explicações do poder e do funcionamento das pontas, quando me ocorreram pela primeira vez, e enquanto inicialmente flutuaram em minha mente, pareceram perfeitamente satisfatórias. Mas, agora que eu as escrevi, e as considere mais de perto em preto e branco, devo confessar que tenho algumas dúvidas sobre elas. Ainda assim, como agora não tenho nada melhor para oferecer no lugar delas, não as descarto. Pois, mesmo uma solução ruim lida, e suas falhas descobertas, tem muitas vezes dado origem a uma boa [solução] na mente de um leitor engenhoso [12, p. 62].

Para Franklin, corpos pontudos tinham a propriedade de extrair ou lançar fluido elétrico

com menos do que naturalmente possuiria e, portanto, eletrizado negativamente.

Para mostrar a validade de seu argu-

mento, Franklin discutiu um experimento envolvendo três pessoas, duas delas sobre um suporte de cera – portanto, isoladas – e a terceira em contato com o chão. Uma das pessoas sobre a cera atritava um tubo de vidro e a segunda tocava apenas o tubo. Como essas duas estavam isoladas sobre a cera, as únicas fontes de fluido elétrico eram elas mesmas e o tubo de vidro. O atrito no tubo fazia com que a pessoa que o atritava perdesse fluido elétrico para ele, ficando eletrizada negativamente. Já a pessoa em contato com o tubo receberia esse fluido elétrico excedente, ficando eletrizada positivamente. Portanto, teríamos duas pessoas com quantidades de fluido elétrico diferentes, uma com um excesso e outra com escassez. Se essas duas pessoas se tocassem, um forte choque seria sentido. Se qualquer uma delas tocasse a terceira pessoa, com sua quantidade natural de fluido elétrico, outro choque seria sentido, embora menos intenso. Em suas próprias palavras, disponíveis na segunda carta a Collinson, de 1747, Franklin disse:

Nós supomos, como citado anteriormente, que o fogo elétrico é um elemento comum, do qual cada uma das três pessoas mencionadas anteriormente possui quantidades iguais, antes de qualquer operação ser iniciada com o tubo. [A pessoa] A, que está sobre a cera e fricciona o tubo, coleta o fogo elétrico a partir de si mesma para o vidro; e sendo sua comunicação com a reserva comum [o chão] impedida pela cera, seu corpo não é imediatamente

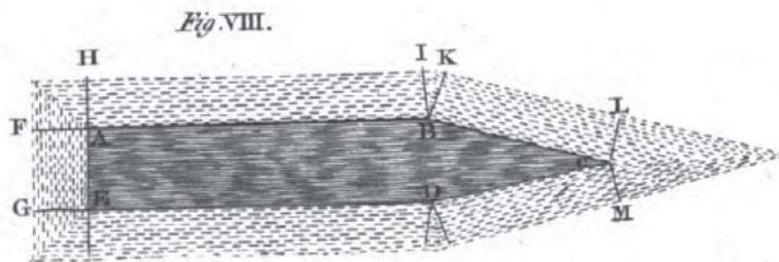


Figura 6: A atmosfera elétrica ao redor de um corpo pontudo. Aquela compreendida por L e M sofreria menor atração da matéria do corpo. Fonte: Ref. [12, Plate I].

suprido [*de fogo elétrico*] de novo. [*A pessoa*] B (que também está sobre a cera), passando o nó de seu dedo próximo ao tubo, recebe o fogo que foi coletado a partir de A pelo tubo; e sua comunicação com o estoque comum sendo da mesma forma impedida, retém a quantidade adicional recebida. Para [*a pessoa*] C, estando no chão, ambos parecem estar eletrizados. Pois, possuindo somente a quantidade média de fogo elétrico, recebe uma faísca ao se aproximar de B, que possui uma quantidade excedente, mas dá [uma faísca] para A, que possui uma quantidade inferior. Se A e B se aproximam para se tocar, a faísca é mais forte, porque a diferença entre eles é maior. Depois de tal toque, não há nenhuma faísca entre eles e entre C, porque o fogo elétrico em todos foi reduzido à igualdade original [12, p. 8].

Em uma segunda situação, caso as duas pessoas sobre a cera se tocassem durante a fricção no tubo, nada aconteceria, pois o fluido elétrico teria apenas circulado por elas e o tubo. Sendo assim, estava confirmado para Franklin que a eletrização positiva ou negativa nada mais seria que um rearranjo das quantidades de fluido elétrico.

Novamente, argumentos semelhantes podem ser encontrados em outros autores do período,

Franklin acreditava que o vidro desempenhava um papel fundamental no carregamento da garrafa de Leiden

como Watson. Em sua *Seqüência*, ele já havia mencionado que os tubos funcionavam como bombas, sugando a eletricidade do chão para corpos não elétricos isolados. Dessas observações, ele aparentemente não concluiu nada relevante [6, p. 299, 329]. O próprio Franklin comentou em sua carta que Watson demonstrara algo similar, mas que se enganara em suas conclusões.

O conceito de eletrização positiva e negativa enfrentava um problema quando associado à ideia de atmosferas elétricas. Sabia-se que corpos com o mesmo tipo de eletrização se repeliam, o que era facilmente explicado no caso da eletrização positiva. Ambos com excesso de matéria elétrica se repeliam porque a repulsão natural entre partículas desse tipo era amplificada. Porém, como explicar a repulsão entre corpos eletrizados negativamente, quando não há atmosfera elétrica ou mesmo a quantidade natural de fluido elétrico neles? E a atração de corpos eletrizados negativamente com corpos neutros? Uma proposta de solução a esse problema foi dada mais tarde por Franz Aepinus (1724-1802), que sugeriu a existência de repulsão entre partículas da matéria comum

[15, p. 851]. Quando a matéria elétrica estava no corpo, as repulsões entre partículas do mesmo tipo – elétrica e comum – seriam atenuadas; porém, ao retirá-la dos corpos em uma eletrização negativa, a repulsão entre partículas de matéria comum se sobressaía. Dessa forma, dois corpos eletrizados negativamente se repeliam por conta da repulsão entre as partículas de matéria comum de cada um, enquanto um corpo eletrizado negativamente atraía um neutro por conta da presença de matéria elétrica nesse último. Franklin não comentou as alterações de Aepinus, provavelmente porque nessa época – final da década de 1759 – ele já não estava tão envolvido com a filosofia natural quanto antes.

O funcionamento da garrafa de Leiden

Um dos pontos altos dos estudos de Franklin em eletricidade foram seus experimentos com garrafas de Leiden ou objetos similares (Fig. 7). É importante frisar que Franklin não utilizou o termo “garrafa de Leiden” nos escritos, fazendo referência a “frascos de vidro” ou “garrafa de Musschenbroek”. Em 1747 e 1748, ele enviou a Collinson duas cartas descrevendo uma série de experimentos com as garrafas. Uma explicação mais detalhada para o funcionamento delas foi descrita no *Opiniões e conjecturas*, enviado em 1749.

Segundo Franklin, o aspecto fundamental da garrafa era o vidro. Pelo fato de o vidro atrair fortemente a matéria

elétrica, a única maneira de movê-la seria revestir suas duas superfícies com materiais não elétricos, ou seja, condutores. Quando um condutor primário transmitia fluido elétrico pelo fio da garrafa, ou seja, a carregava, esse fluido excedente gerava uma atmosfera elétrica sobre a superfície de vidro interna, mas espalhada pelo não elétrico interno. Para Franklin, isso eletrizava positivamente esse superfície e, pela repelência entre as partículas da matéria elétrica, o fluido elétrico da superfície externa era “empurrado” para fora, em direção ao não elétrico externo. Estando este aterrado, o fluido elétrico era transmitido ao chão, deixando a superfície externa do vidro eletrizada negativamente. A garrafa estava, portanto, efetivamente carregada. No “Opiniões e conjecturas”, ele escreveu:

Nem nós temos nenhuma maneira de mover o fluido elétrico no vidro, a não ser uma; que é por cobrir parte das duas superfícies do vidro fino com [*materiais*] não-elétricos, e então jogando uma quantidade adicional desse fluido [*elétrico*] em uma superfície, que espalhando-se no não-elétrico, e sendo limitado por ele até aquela superfície, age, por sua força repulsiva, nas partículas de fluido elétrico contidas na outra superfície [*do vidro*], e as leva para fora do vidro para o não-elétrico daquele lado, de onde são descarregadas e, [*para que*] em seguida, aquelas adicionais no lado carregado possam entrar. Mas, quando isso é feito, não há mais [*fluido elétrico*] no vidro, nem menos do que antes, somente o tanto que saiu de um lado e foi recebido do

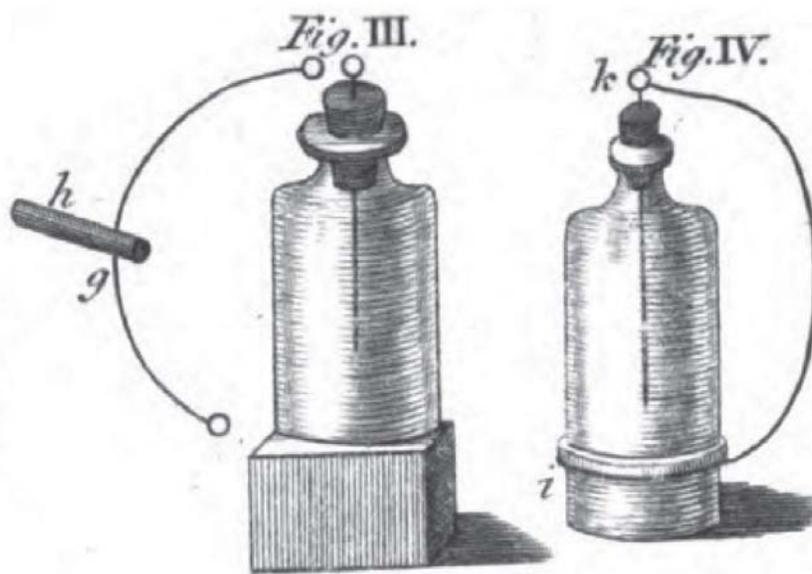


Figura 7: Garrafas de Leiden utilizadas por Franklin. Fonte: Ref. [12, Plate 1].

outro [12, p. 75].

Nesse sentido, não havia inserção propriamente de fluido na garrafa, uma vez que sua quantidade total permanecia a mesma. Estar carregada significava que uma superfície tinha um excedente de fluido e outra uma falta. A descarga produzida pela garrafa tratava-se, assim, do reestabelecimento do equilíbrio de fluido elétrico nas duas superfícies do vidro.

O aspecto fundamental da ideia de Franklin era que não havia passagem de fluido elétrico de uma superfície de vidro a outra. Ele propôs que as duas superfícies compreendiam exatamente a metade da espessura do vidro e que não poderia passar fluido elétrico pela linha divisória entre as duas (Fig. 8).

Para Franklin, isso tinha relação com o resfriamento do vidro em seu processo de fabricação, o que deixava seus poros muito estreitos. A repelência entre os fluidos de um lado e de outro, contudo, poderia ser comunicada.

Mas, eu suponho mais, que no resfriamento do vidro, sua textura se torna mais próxima no meio, e forma uma espécie de partição, na qual os poros são tão estreitos que as partículas do

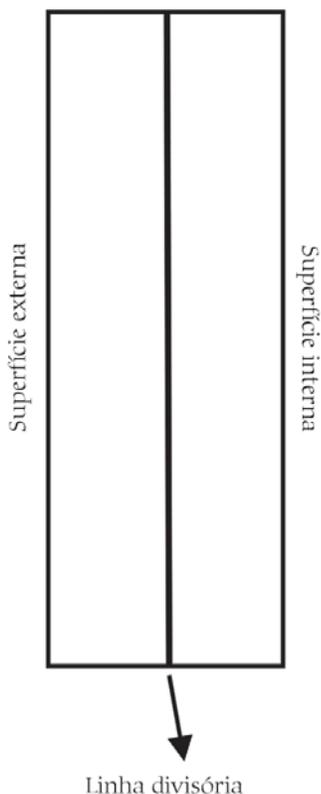


Figura 8: Segundo Franklin, as superfícies do vidro em uma garrafa de Leiden, por exemplo, compreendiam exatamente a metade de sua espessura. Fonte: elaborado pelo autor.

fluido elétrico, que entram em ambas as superfícies ao mesmo tempo, não podem atravessar, ou passar e repassar de uma superfície a outra, e então se misturarem. No entanto, embora as partículas do fluido elétrico, embebidas por cada superfície, não podem elas mesmas passar através daquelas [partículas] da outra [superfície], sua repelência pode, e, por isso, significa que agem umas sobre as outras [12, p. 76-77].

Ainda que a ideia de Franklin sobre a interação entre os fluidos elétricos nas superfícies interna e externa guarde semelhança com os modernos conceitos de indução elétrica, ressalto que esses só foram plenamente desenvolvidos no século XIX. De modo geral, os argumentos de Franklin são coerentes com o comportamento da garrafa, mas eles não escapam de alguns problemas. Em sua argumentação, ele afirmou que cada superfície do vidro tinha metade de sua espessura total, mas não explicou por que a divisão ocorria exatamente no meio. Ademais, a razão pela qual a repelência entre os fluidos elétricos em cada superfície permanecia após essa divisão não foi comentada. Posteriormente, Franklin reconheceu a fragilidade dessa hipótese [14, p. 476, n. ‡], embora ela não deixe de ser bastante inventiva e elucidativa.

Os experimentos da guarita e da pipa

A descrição dos experimentos da guarita e da pipa tem relação com duas discussões anteriores de Franklin: o poder das pontas e a formação dos temporais com raios e trovões. Essa última foi examinada em uma carta de 1749, endereçada a John Mitchel (1711-1768) [16]. Nela, Franklin comentou sobre como seriam formadas nuvens eletrizadas, a partir do vapor d'água vindo do mar. Resumidamente, ele considerou as nuvens como grandes reservatórios de eletricidade e os raios uma consequência da transferência de fluido elétrico de uma nuvem eletrizada para um obstáculo não eletrizado, fosse uma nuvem, montanha ou mesmo uma árvore ou edifício. Nessa carta, ele fez, pela primeira vez, uma associação mais detalhada entre os raios e as faíscas obtidas por garrafas de Leiden.

O experimento da guarita buscava determinar se as nuvens em temporais com raios e trovões estavam eletrizadas ou não. Ele foi descrito no "Opiniões e conjecturas" e respaldava-se no seguinte ar-

ranjo: uma guarita era colocada acima de um edifício alto e dentro dela ficava uma pessoa sobre um suporte isolante, do qual sairia uma longa haste metálica pontuda, apontada para o céu (Fig. 9). Quando nuvens passassem próximas à haste pontuada, pelo seu poder de extrair fluido elétrico, este seria transmitido ao longo dela e o homem poderia observar faíscas ao aproximar os nós dos dedos. Ele continuou:

Se algum perigo ao homem for percebido (embora acho que não existiria nenhum), deixe ele ficar no chão de sua guarita, e ocasionalmente traga para perto da haste o laço de um fio que possui uma das extremidades amarradas aos fios condutores [aterrados], ele o segurando por um cabo de cera, tal que as faíscas, se a haste for eletrizada, golpeará da haste para o fio, e não o afetará [12, p. 66].

Pela descrição, é possível perceber que Franklin não considerava o experimento demasiadamente perigoso. Isso porque possivelmente ele imaginava que a haste

coletaria o fluido elétrico silenciosamente, não por meio de uma descarga abrupta. Franklin não cogitou a incidência de

O experimento da guarita tinha o propósito de determinar se as nuvens em tempestades estavam eletrizadas

um raio sobre a haste, o que certamente traria risco à vida do experimentador. Portanto, o experimento da guarita não é um para-raios, tendo sido desenvolvido especialmente para verificar a eletrização



Figura 9: O experimento da guarita, ilustrado no *Experimentos e observações*. Fonte: Ref. [12, Plate 1].

das nuvens. Uma adaptação do experimento para torná-lo um para-raios envolveria aterrar a haste ao solo, o que Franklin sugeriu alguns trechos antes:

Eu digo, se essas coisas são assim, não poderia o conhecimento desse poder das pontas ser útil para a humanidade, em preservar casas, igrejas, navios etc. do alcance dos raios, por nos direcionar a fixar nas partes mais altas desses edifícios hastes verticais de metal, feitas afiadas como uma agulha e douradas para prevenir o enferrujamento, e do pé dessas hastes um fio para baixo do exterior do prédio, para o chão, ou para baixo ao redor de uma das mortalhas de um navio, e para baixo ao lado dela até que ela atinja a água? Essas hastes pontudas provavelmente não extrairiam o fogo elétrico silenciosamente de uma nuvem antes

O experimento da pipa foi uma adaptação do experimento da guarita

que ela chegasse perto o suficiente para golpear, e assim nos asseguraríamos desse mal mais súbito e terrível? [12, p. 65-66]

Como apontei anteriormente, o experimento da guarita foi reproduzido de maneira bem-sucedida pelos franceses. Porém, nem todas as reproduções foram exitosas. Georg Richmann (1711-1753) morreu após repetir o experimento em São Petersburgo, provavelmente porque não utilizou um suporte isolante [17, p. 85] (Fig. 10). Para piorar, alguns temiam os efeitos dos para-raios, acreditando, por exemplo, que ao aterrar a haste, os raios seriam acumulados no solo, ocasionando terremotos [14, p. 511]. Apesar desses percalços, o sucesso do experimento em mostrar que as nuvens em temporais com raios e trovões estavam eletrizadas era evidente, contribuindo para tornar Franklin célebre na Europa.

O experimento da pipa foi uma variação do experimento da guarita. Aparentemente, Franklin tinha em mente uma proposta mais prática para verificar a eletrização das nuvens, que não envolvesse todo o aparato de construir uma guarita no alto de um edifício. Em uma carta sucinta a Collinson, enviada em 1752, ele deu direções sobre como construir a pipa para esse fim:

Faça uma pequena cruz de duas tiras de cedro, os braços tão longos de forma a alcançar os quatro cantos de um largo lenço fino de seda quando estendido. Amarre os cantos do lenço às extremidades da cruz, de modo que tenha o corpo de uma pipa, a qual sendo supri-

da com uma cauda, laço e barbante, subirá no ar, como aquelas feitas de papel. Porém, essa sendo feita de seda, é mais apropriada para enfrentar a umidade e vento de uma tempestade com raios e trovões sem rasgar. No topo da tira vertical da cruz deve ser afixado um fio pontudo muito afiado, erguendo-se um pé [$\approx 30\text{ cm}$] ou mais acima da madeira. Ao final do barbante, próximo à mão, deve ser amarrado um laço de seda, e onde a seda e o barbante se unem, uma chave deve ser amarrada. [12, p. 111-112]

Ao empinar a pipa em meio a um temporal com raios e trovões, seria possível coletar faíscas ao aproximar os nós dos dedos à chave ou mesmo carregar uma garrafa de Leiden (Fig. 11). Há indícios de que teria feito o experimento antes de ouvir sobre os relatos

franceses sobre o experimento da guarita [17, p. 69], mas até os dias atuais não há certeza de que isso realmente ocorreu.

De qualquer forma, não parece que a pipa tenha desempenhado um papel fundamental, como as anedotas populares sugerem. Ainda que mais prático, o experimento da guarita era, sem dúvida, mais seguro. Em sua autobiografia, Franklin se referiu ao experimento da pipa apenas



Figura 10: Morte de Richmann, após tentar reproduzir os experimentos de Franklin. Esse evento diminuiu o entusiasmo a respeito da invenção de Franklin, mas não minimizou sua importância entre os filósofos naturais. Fonte: Ref. [13, p. 293].



Figura 11: “Franklin extraindo eletricidade do céu” (c. 1816), de Benjamin West (1738-1820). Esse quadro ilustra como o experimento da pipa enraizou-se no imaginário popular sobre os cientistas, mesmo ele não tendo tido tamanha importância para o próprio idealizador. Fonte: *Philadelphia Museum of Art*. Disponível em: <https://www.philamuseum.org/collections/permanent/57044.html> (acesso em março de 2018).

como um caso “similar” ao da guarita, este sim, classificado como “capital” para o estabelecimento de novas propriedades da eletricidade [18, p. 121].

Mas, por que o experimento ficou tão famoso? Isso provavelmente se deveu a Joseph Priestley (1733-1804), que publicou um livro sobre história da eletricidade em 1767, com a contribuição de vários estudiosos na área, incluindo Franklin. No livro, ele deu a entender que Franklin efetivamente fez o experimento, mas não o comunicou por receio de ser ridicularizado. Segundo Priestley, “isso aconteceu em junho de 1752, um mês depois que os eletricitistas na França tinham verificado a mesma teoria, mas antes de ele ter ouvido qualquer coisa que eles tivessem feito” [19, p. 181]. Outros historiadores replicaram essa história, levando à conhecida anedota sobre Franklin e o experimento da pipa [1, p. 152].

Conclusão

Os estudos de Franklin sobre a eletricidade influenciaram muitos filósofos naturais posteriores e contribuíram significativamente para uma maior compreensão dos fenômenos elétricos. Mais que apenas empinar uma pipa ou apresentar

a ideia de para-raios, Franklin desenvolveu um conjunto de conceitos para a eletricidade, imerso em um contexto em que os estudos nessa área avançavam.

Este artigo buscou trazer uma imagem mais adequada das contribuições de Franklin para os estudos em eletricidade do início do século XVIII. Acredito que, dessa maneira, seja possível evitar uma abordagem demasiadamente idealizada

de suas realizações, considerando-o como um homem de seu tempo, que estudou os principais fenômenos conhecidos e propôs explicações a eles, contrapondo algumas ideias vigentes e elaborando outras novas. Entender mais corretamente o papel de Franklin para a história da eletricidade pode abrir caminhos para compreendermos a natureza do conhecimento científico,

subsidiando abordagens mais críticas no ensino.

Agradecimentos

O autor agradece a colaboração inicial de Thátýusse Bonfim e o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, processo 2014/08359-0) para a realização das pesquisas que originaram este trabalho.

Referências

- [1] C.C. Silva e A.C. Pimentel, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **25**, 141 (2008).
- [2] L.R.C. Cooley, *Natural Philosophy for Common and High Schools* (Charles Scribner's Sons, New York, 1882).
- [3] S.L.B. Boss, A.K.T. Assis and J.J. Caluzi, *Stephen Gray e a Descoberta dos Condutores e Isolantes: Tradução Comentada de seus Artigos sobre Eletricidade e Reprodução de seus Principais Experimentos* (Cultura Acadêmica, São Paulo, 2012).
- [4] J.G. Doppelmayer, *Neu-entdeckte Phänomene von Bewunders-würdigen Würckungen der Natur* (Nuremburg, 1774), tab. II, disponível em http://books.google.com.br/books?id=ek1NAAAacAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- [5] S.L.B. Boss e J.J. Caluzi, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 635 (2007).
- [6] J.L. Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study of Early Modern Physics* (University of California Press, Berkeley/ Los Angeles/ London, 1979).
- [7] C.C. Silva, in: *Brazilian Studies in Philosophy and History of Science: an Account of Recent Works*, edited by D. Krause and A. Videira (Dordrecht, Springer, 2011), p. 131-140.
- [8] W.T. Jardim e A. Guerra, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **34**, 774 (2017).
- [9] C.C. Silva, P. Heering, *History of Science* **56**, 314 (2018).
- [10] W. Larden, *Electricity for Public Schools and Colleges* (New York/Bombai, Longmans, Green and Co., 1903).
- [11] I.B. Cohen, *Benjamin Franklin's Experiments* (Harvard University Press, Cambridge, 1941).
- [12] B. Franklin, *Experiments and Observations on Electricity, Made at Philadelphia in America* (David Henry, London, 1769).
- [13] L. Figuier, *Les Grandes Inventions Anciennes et Modernes dans les Sciences, l'Industrie et les Arts* (L. Hachette, Paris, 1870).
- [14] I.B. Cohen, *Franklin and Newton: an Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity* (The American Philosophical Society, Philadelphia, 1956).
- [15] I.B. Cohen, in: *Dicionário de Biografias Científicas, v. 1*, editado por C. Benjamin (Contraponto, Rio de Janeiro, 2007).
- [16] B.A. Moura e T. Bonfim, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **34**, 460 (2017).
- [17] I.B. Cohen, *Benjamin Franklin's Science* (Harvard University Press, Cambridge, 1990).
- [18] B. Franklin, *The Autobiography of Benjamin Franklin* (Dover Publications, Mineola/New York, 1996).
- [19] J. Priestley, *The History and Present State of Electricity, With Original Experiments* (Cadell, London, 1767).

Notas

¹O leitor certamente perceberá esse fato ao ver as referências bibliográficas utilizadas neste artigo, quase todas em inglês.

²Os dois artigos aqui referenciados trazem novas e interessantes interpretações sobre a invenção da garrafa de Leiden. O texto em inglês, de C.C. Silva e P. Heering, traz, particularmente, uma reinterpretação historiográfica sobre a invenção, apresentando uma versão diferente da geralmente encontrada em livros e artigos sobre o assunto.

³Leiden era a cidade de Musschenbroek.

⁴Essa, na realidade, foi a primeira parte da primeira edição. Outras duas partes foram publicadas em 1753 e 1754, complementando o texto de 1751. Juntas, elas formam o que é conhecida como a primeira edição do livro de Franklin. A publicação em partes de seu texto também foi feita na segunda (1754, em dois momentos diferentes) e na terceira edições (1760 e 1765). A quarta e a quinta edição foram publicadas como um texto único. Ver Ref. [11].