

Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade

Roberto de Andrade Martins

Grupo de História e Teoria da Ciência, Unicamp, C.P. 6059, 13081-970, Campinas-São Paulo, Brazil. E-mail
rmartins@ifi.unicamp.br, home-page <http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>

RESUMO. Galvani descobriu que ocorriam contrações musculares em rãs em contato com metais e interpretou o fenômeno como causado por um fluido invisível, a ‘eletricidade animal’. Volta convenceu-se de que esses fenômenos aconteceriam devido à eletricidade comum produzida pelo contato entre dois metais diferentes. Apresentou a evidência de que um par de metais produzia uma eletricidade muito fraca, que podia ser amplificada por um aparelho chamado “condensador”, permitindo a sua detecção em eletrômetros. No entanto, esses aparelhos não levaram à aceitação geral de suas idéias, pois apenas proporcionavam evidências indiretas. A invenção da pilha permitiu produzir efeitos muito mais fortes do que antes. Mesmo assim, subsistiam dúvidas bem fundadas sobre a identidade entre a eletricidade produzida por atrito e os efeitos produzidos pelas pilhas. Este trabalho apresenta uma descrição desse episódio histórico e discute a questão metodológica de como se pode fundamentar a identidade ou diversidade de causas de dois fenômenos semelhantes.

Palavras-chave: história da física, eletricidade, Alessandro Volta.

ABSTRACT. *The invention of the pile by Alessandro Volta: difficulties in establishing the identity between galvanism and electricity.* Galvani discovered that contact with metals could produce muscular contractions in frogs. He interpreted the phenomenon as due to an invisible fluid, called “animal electricity”. Volta was convinced that those phenomena were due to common electricity produced by the contact between two different metals. As an evidence of his points of view he showed that weak electricity produced by a pair of metals could be amplified with an apparatus called condenser, allowing its detection in electrometers. However, there was no general acceptance of his ideas, because all the evidences provided were indirect. The invention of the pile allowed Volta to produce effects that were much stronger. Nevertheless, some well-grounded doubts subsisted concerning the identity between electricity produced by friction and the effects produced by piles. This paper describes that historical episode and discusses the methodological issue of the foundations of claims of identity two similar phenomena.

Key words: history of physics, electricity, Alessandro Volta.

Sob o ponto de vista da ciência atual, a eletricidade produzida por uma pilha é idêntica à eletricidade produzida por fricção. Essa identidade, no entanto, não é evidente. Um estudante do ensino fundamental ou médio, ao estudar pela primeira vez o assunto, geralmente fica intrigado, notando que é possível atrair pequenos pedaços de papel com um pente atritado, enquanto que uma pilha não atrai esses mesmos pedaços de papel. Pode também questionar por que uma pilha é capaz de produzir efeitos que a eletricidade estática não produz, como acender uma lâmpada.

Essas dúvidas não são tolas. Afinal, por qual

motivo se deve acreditar na identidade de duas coisas que produzem efeitos tão diferentes?

Neste caso, como em muitos outros, o ensino científico oculta problemas conceituais importantes. E neste caso específico, como em muitos outros, um estudo histórico pode esclarecer essas dificuldades.

Muitas vezes, na história da ciência, descobriu-se que efeitos semelhantes podiam ser produzidos por causas completamente diferentes; e que efeitos diferentes podiam ser produzidos por causas de mesma natureza. Francis Bacon incluiu em uma mesma categoria calor, os efeitos do fogo e da pimenta - que, atualmente, consideramos como

totalmente distintos. Isaac Newton unificou fenômenos aparentemente desconexos, como a queda de uma pedra e o movimento da Lua em torno da Terra. A busca de semelhanças e diferenças tem um importante papel na pesquisa científica. Além de discutir um episódio histórico específico, este artigo discute a questão metodológica geral de como se pode fundamentar a identidade ou diversidade de causas de dois fenômenos semelhantes.

A descoberta de Luigi Galvani

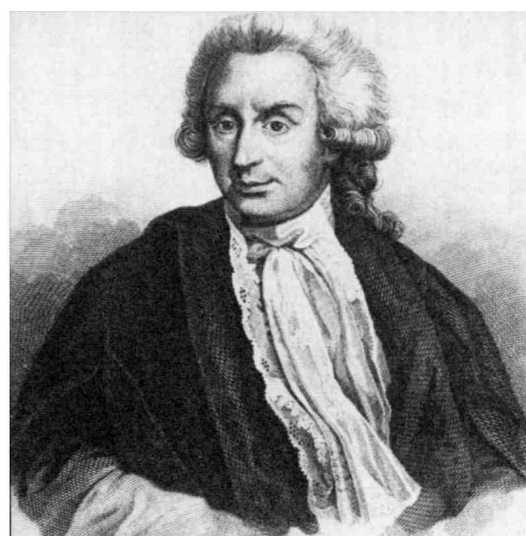
Em 1791, Luigi Galvani (1737-1798) publicou a descrição de uma série de novos fenômenos¹. Primeiramente, ele observou que a perna de uma rã dissecada, tocada com um bisturi, se contraía fortemente quando uma máquina elétrica estava em funcionamento perto da rã. Através de vários testes, ele se convenceu de que o fenômeno era de natureza elétrica e que só ocorria quando um condutor era colocado em contato com os músculos da rã, ao mesmo tempo em que ocorria uma descarga elétrica no aparelho.

As pesquisas de Benjamin Franklin haviam mostrado que os raios eram fenômenos elétricos. Galvani investigou, por isso, se as rãs dissecadas sofreriam contrações quando expostas à eletricidade atmosférica. Pendurou várias rãs, em ganchos de latão, em uma grade de ferro em seu jardim. Quando havia tempestades e raios, as rãs mostravam contrações, mas isso também ocorria, algumas vezes, quando o céu estava completamente livre de nuvens. Galvani não conseguia perceber o que produzia esses efeitos.

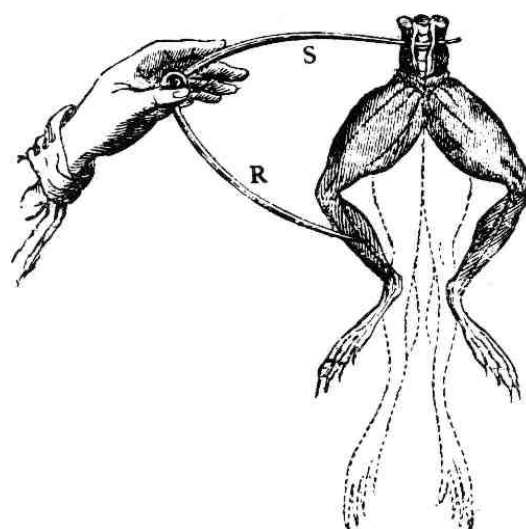
Finalmente, cansado de esperar inutilmente, comecei a apertar e espremer os ganchos que estavam presos à espinha [das rãs] contra a grade de ferro, para ver se assim conseguiria estimular a contração dos músculos e se, em vez de depender das condições atmosféricas e de sua eletricidade, alguma outra mudança poderia ter influência (Galvani, em Magie, A source book in physics, pp. 423-4).

Galvani observou que ocorriam contrações, e pensou inicialmente que a eletricidade atmosférica havia se acumulado nas rãs, e que estava sendo descarregada quando o gancho de latão era pressionado contra a grade de ferro. No entanto, repetindo esses experimentos no laboratório, verificou que as contrações continuavam a ocorrer e a se repetir muitas vezes. Utilizando diferentes

materiais, Galvani notou que era necessário conectar a medula da rã ao músculo da perna, utilizando condutores metálicos para obter o efeito. Tratava-se de um fenômeno semelhante ao produzido pelas descargas da máquina eletrostática, mas que ocorria aparentemente sem nenhuma fonte externa de eletricidade. Galvani supôs que o próprio animal estava produzindo eletricidade, ou algum tipo de *fluido nervoso* semelhante à eletricidade. Notou também que o fenômeno era muito mais forte quando eram utilizados dois metais diferentes (um tocando a medula e outro tocando o músculo) do que quando um único metal era utilizado.



(a)



(b)

Figura 1. As observações realizadas por Luigi Galvani (1737-1798) (a) sobre contrações de pernas de rãs submetidas à eletricidade ou ao contato com pares metálicos (b) deram origem às pesquisas de Volta, que culminaram com a invenção da pilha elétrica

¹ A descrição original foi publicada em latim *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*, na revista da Academia de Ciências de Bolonha. Os trechos mais importantes podem ser encontrados em Magie, *A source book in physics*, pp. 420-7.

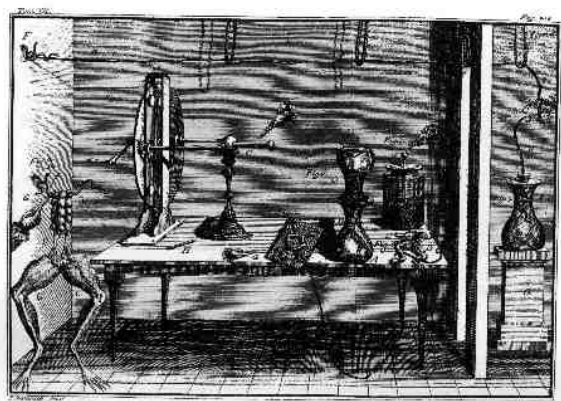


Figura 2. As primeiras observações de Galvani sobre contrações de pernas de rãs ocorreram por acaso, quando uma rã era dissecada próxima a uma máquina que produzia eletricidade estática. Galvani realizou então vários experimentos em que estudou esse tipo de fenômeno, utilizando diversas fontes de eletricidade (ilustração I da obra de Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, 1791)

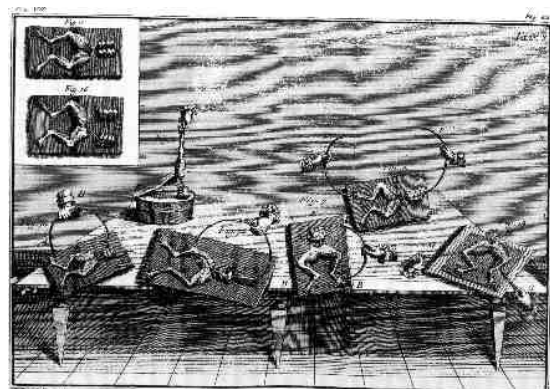


Figura 3. Após perceber que as pernas das rãs se contraíam pelo mero contato com metais, Galvani realizou experimentos sistemáticos conectando a medula vertebral das rãs com os músculos de suas pernas, através de condutores metálicos, para tentar descobrir as propriedades do fenômeno (ilustração 3 da obra de Galvani, *De viribus electricitatis in motu musculari*, 1791)

Antes dos experimentos de Galvani, já se falava sobre o *fluido nervoso*, que era comparado à eletricidade. Havia, no entanto, muitas dúvidas sobre se havia uma mera analogia entre eletricidade e o fluido nervoso, ou se ambos poderiam ser idênticos (Kipnis, 1987, p. 111). Logo após a publicação do trabalho de Galvani, muitos trabalhos foram publicados, discutindo a natureza dos fenômenos descritos. Galvani havia estabelecido algumas semelhanças entre os fenômenos observados e a eletricidade:

- isolantes elétricos não produziam as contrações nas rãs;
- descargas elétricas produziam contrações semelhantes às observadas com o arco metálico.

Seria isso suficiente para mostrar a identidade entre o fluido nervoso e a eletricidade? Certamente que não. O próprio Galvani havia notado que as contrações eram mais fortes quando utilizava um par de metais diferentes, e por isso o fenômeno foi atribuído a reações químicas por outros autores (Kipnis, 1987, p. 117). A discussão que se seguiu introduziu uma nova distinção, que tornava ainda mais complexo o problema. Podia-se dar o nome de *fluido galvânico* (por definição) àquilo que ocasionava os fenômenos observados por Galvani. Mas não estava claro se o fluido galvânico era de natureza elétrica, tampouco estava claro se ele era da mesma natureza do fluido nervoso. Cerca de um ano após a publicação do trabalho de Galvani, as disputas entre os diversos autores giravam em torno de três principais questões (Kipnis, 1987, p. 118):

- O fluido galvânico é de natureza elétrica, ou não?
- O fluido galvânico se origina dentro do animal ou fora dele?
- O fluido galvânico é idêntico ao fluido nervoso ou apenas um estímulo para este?

Galvani claramente favorecia a idéia de que o fluido galvânico era diferente da eletricidade comum:

Parece que deve existir uma diferença de natureza entre eles, por causa de alguma alteração ou mudança ou preparo que a eletricidade comum recebe na máquina animal (carta de Galvani a Carminati, apud Bernardi, 1999).

A expressão que melhor caracterizaria a visão de Galvani é a de *eletricidade animal*, uma categoria *sui generis* de fluido (Heilbron, 1970, p. 76).

Reação de Alessandro Volta à descoberta de Galvani

Quando Alessandro Volta (1745-1827) ouviu as primeiras notícias sobre esses trabalhos de Galvani, considerou os fenômenos descritos como inacreditáveis. No entanto, logo depois, ele repetiu com sucesso os experimentos e envolveu-se imediatamente com a nova área de pesquisas.

Inicialmente, Volta acreditava, como Galvani, que o corpo dos animais produzia um tipo especial de eletricidade. No entanto, fazendo várias repetições e modificações nos experimentos descritos por Galvani, acabou por concentrar sua atenção na importância de utilizar dois metais diferentes no circuito que excitava as contrações. Se os condutores metálicos tivessem apenas um papel passivo (de conduzir a eletricidade animal), o fenômeno deveria ser tão forte com um metal quanto com dois metais

diferentes. Volta foi, assim, conduzido à conjectura de que era o par de metais que produzia o efeito. Os metais, evidentemente, não podiam produzir *eletricidade animal*. Portanto, poderia tratar-se de um mero fenômeno elétrico, e a rã funcionaria apenas como um delicado detector de eletricidade. No início de 1893, Volta publicou uma carta dirigida a Giovanni Aldini (sobrinho de Galvani), na qual declarava sua posição contrária à hipótese da eletricidade animal (Heilbron, 1970, p. 77).



Figura 4. Alessandro Volta (1745-1827), tendo ao fundo uma de suas pilhas elétricas

Havia, no entanto, muitos problemas em relação à posição de Volta. Era difícil imaginar, em primeiro lugar, que o mero contato entre metais diferentes (ou entre os metais e as substâncias orgânicas) pudesse produzir eletricidade. Em segundo lugar, todos os experimentos iniciais em que Volta tentava mostrar a existência dessa eletricidade utilizavam animais ou partes de animais, e podiam, portanto, ser interpretados como devidos a uma *eletricidade animal*.

No ano seguinte, Eusebio Valli (que apoiava a interpretação de Galvani) atacou a visão de Volta, mostrando que era possível produzir contrações em rãs dissecadas sem o uso de nenhum metal - utilizando apenas suas próprias mãos para fechar o circuito entre a medula espinhal e o músculo das pernas (Heilbron, 1970, p. 77-8). O experimento parecia decisivo contra Volta, mas este deu uma interpretação simples para o novo efeito: supôs que qualquer seqüência de condutores diferentes

(metálicos ou não) poderia gerar efeitos elétricos. Analisando várias combinações diferentes de condutores metálicos e não-metálicos, Volta estabeleceu comparações entre suas *forças eletromotoras*, mas utilizando sempre rãs como detectores.

Seria possível detectar algum efeito elétrico produzido por um par de condutores sem utilizar nenhum elemento orgânico como detector? Nenhum eletroscópio indicava qualquer efeito quando conectado às rãs ou a um par metálico. Volta supôs que as contrações poderiam ser produzidas por uma eletricidade muito fraca, e tentou descobrir qual a menor tensão de eletricidade *comum* (produzida por atrito) que era capaz de produzir tais efeitos nas rãs. Concluiu que uma garrafa de Leyden, carregada tão fracamente que sua tensão correspondia a apenas 5/100 de grau do mais sensível eletrômetro disponível², produzia ainda efeitos de contração observáveis. Assim sendo, talvez fosse impossível detectar diretamente, por um eletrômetro, o efeito elétrico produzido pelo par metálico.

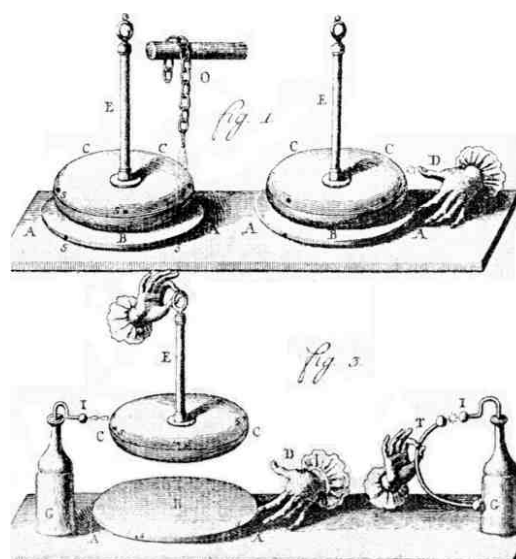


Figura 5. Em 1775, Alessandro Volta desenvolveu um aparelho denominado *eletróforo*, capaz de produzir cargas elétricas por um processo que atualmente chamamos de *indução eletrostática*. O eletróforo era constituído por dois discos metálicos, estando o disco inferior recoberto por uma resina isolante. O disco superior possuía uma haste isolante que permitia manipulá-lo. O aparelho era inicialmente carregado colocando-se os seus discos metálicos em contato com uma garrafa de Leyden ou com um gerador eletrostático. Em seguida, os dois discos eram colocados em contato (com a mão ou outro condutor). Quando se erguia o disco superior, verificava-se que ele estava fortemente carregado, assim como a resina do disco inferior. Essa carga podia ser transmitida a uma garrafa de Leyden, por exemplo. Depois,

² Volta utilizava um eletrômetro com palhas, que era um pouco menos sensível do que os eletrômetros de folha de ouro.

recolocando-se o disco superior sobre o inferior e tocando-se novamente ambos, o processo podia ser repetido



Figura 6. Para medir tensões elétricas, Volta desenvolveu um eletrômetro no qual, ao invés de folhas de ouro (utilizadas por Abraham Bennet), empregava duas hastes de palha, bem finas. O ângulo formado entre as palhas era aproximadamente proporcional à tensão elétrica

Volta já tinha experiência em lidar com fracas tensões elétricas. Ele havia desenvolvido, em 1782, um aparelho chamado *condensador*³, capaz de concentrar cargas elétricas de modo a amplificar e tornar observáveis fracas tensões (Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th centuries*, p. 453). O aparelho era simplesmente um eletróforo, com um isolante fino entre as duas placas metálicas. A armadura inferior era conectada ao solo (tocando-a com um dedo), e a armadura superior (móvel) era conectada durante algum tempo à fonte de tensão fraca, e se carregava. Separando-se essa armadura da inferior, ela se tornava capaz de afetar um eletrômetro.

Utilizando esse aparelho, em 1796, Volta foi capaz de detectar uma fraca tensão elétrica produzida por um par metálico (Mertens, 1998, p. 304). Sua interpretação do fenômeno era a seguinte: cada metal ou substância condutora possui uma *afinidade* ou *atração* específica pela eletricidade. Dois metais diferentes, em contato mútuo, atraem de formas diferentes a eletricidade neles contida, e por isso um deles se torna mais carregado de eletricidade e o outro se torna menos carregado. Se esse par de metais for conectado através de um condutor úmido, como ocorre no caso da rã, fluirá uma fraca corrente de eletricidade de um para o outro, de forma constante. Se o circuito for deixado aberto, haverá a produção de uma pequena tensão elétrica, que não podia ser indicada diretamente pelos eletroscópios, mas que podia ser mostrada com o auxílio do condensador de Volta.

Seria esse experimento decisivo? Volta parece ter considerado que sim. Em uma carta anônima (na qual se refere a si próprio na terceira pessoa), ele escreveu:

*Agora, portanto, que está [demonstrado], agora que tudo está não apenas provado mas exibido diante dos olhos através dos experimentos acima descritos com placas metálicas e mesmo não-metálicas, que se tornam fortemente eletrificadas e que transmitem sinais claros ao eletrômetro através de mero contato mútuo - o que você dirá, meu caro Aldini, e o que dirá o próprio Galvani? [...] Eu concluo, portanto, que Volta demonstrou sua eletricidade artificial externa [...]; que a prova por experimentos diretos, muito simples, e em certo sentido nos permite tocá-la fisicamente (carta de Volta a Aldini, abril de 1798, em Volta, *Opere*, vol. 1, p. 555).*

Utilizando citações como esta, Joost Mertens alegou recentemente que, em 1797, Volta já havia fornecido evidências suficientes de sua hipótese, e que a invenção da pilha não tinha importância sob o ponto de vista científico:

Acredito que a pilha deve ser considerada como um dispositivo de demonstração pública, parte de uma estratégia para promover reconhecimento geral do fato da 'eletricidade metálica' (Mertens, 1998, p. 301).

A pilha se destinava a converter essas pessoas [o público geral] em testemunhas da eletricidade metálica (Mertens, 1998, p. 311).

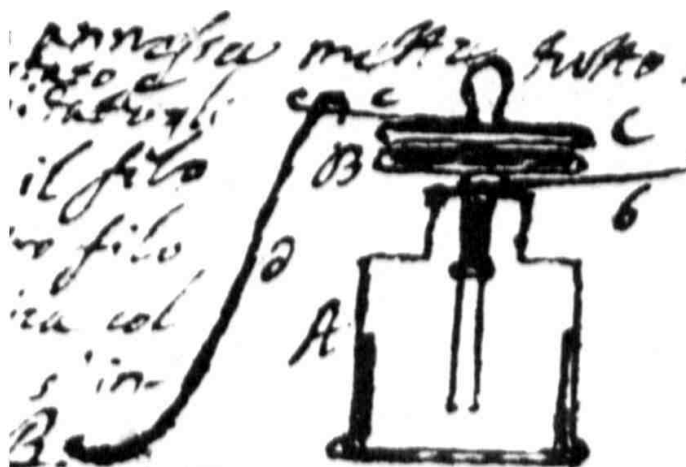
Não se deve, no entanto, confundir retórica com argumentação. Indubitavelmente, Volta queria *convencer* os seus leitores, em 1797-98, de que sua hipótese estava correta e bem fundamentada. Como veremos neste artigo, ele próprio sabia que não dispunha de evidências suficientes, e continuou a

³ Não confundir com os capacitores elétricos.

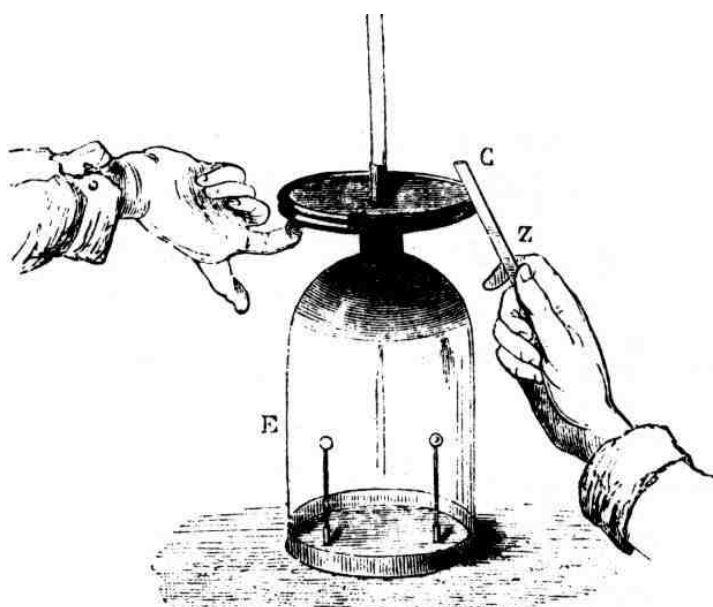
procurá-las não apenas até a invenção da pilha, mas mesmo depois disso.



(a)



(b)



(c)

Figura 7. Unindo os princípios do eletroscópio e do eletróforo, Volta criou o *eletroscópio condensador*. Tratava-se de um eletroscópio ao qual se adaptava um disco metálico recoberto com uma fina camada isolante. Um segundo disco, dotado de uma haste isolante, era colocado sobre o primeiro. Tocava-se o disco inferior com a mão, enquanto o disco superior era carregado. Depois, retirando-se o contato do disco inferior e afastando o disco superior, observava-se um forte desvio das palhas do eletroscópio

A pilha de Volta e seu significado científico

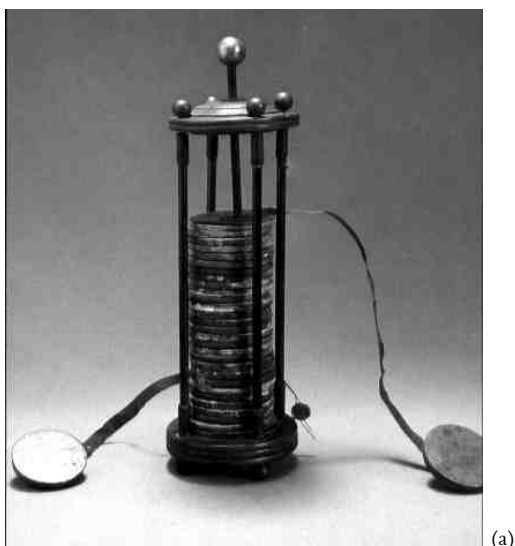
A propriedade que caracterizava a eletricidade produzida por fricção, desde a Antiguidade, era a capacidade de produzir atrações (e, depois, repulsões). Com um par metálico, era possível produzir diretamente contrações em rãs, mas não atrações ou repulsões visíveis. Ao utilizar seu *condensador*, Volta foi capaz de aumentar o efeito elétrico (eletrostático, na nomenclatura mais recente) de pequenas cargas e, desse modo foi capaz de exibir a influência de um par metálico sobre um

eletroscópio muito delicado. Era necessário multiplicar 60 vezes a *tensão* produzida por um par de zinco-prata para produzir uma deflexão de apenas um grau no eletroscópio de Volta⁴. Certamente, esse era um passo importante para tentar mostrar que o par metálico gerava eletricidade. Seus experimentos não foram convincentes, no entanto, pois o efeito era indireto, observado com instrumentos muito delicados, e o próprio funcionamento do dispositivo

⁴ Uma deflexão de 1° no eletroscópio de Volta seria equivalente a aproximadamente 40 volts (Heilbron, 1970, p. 78).

condensador inventado por Volta não era facilmente compreendido. Além disso, alguns autores que tentaram repetir esses experimentos obtiveram resultados diferentes (Kipnis, 1987, p. 122).

A pilha nasceu como resultado da tentativa de Volta de produzir efeitos elétricos diretos mais fortes, a partir de pares metálicos. Inicialmente, Volta tentou colocar vários pares metálicos em série (prata-zinco-prata-zinco-prata-zinco-etc.), mas observou que o efeito era igual ao de um único par metálico. Depois de várias tentativas fracassadas, Volta aprendeu a combinar placas metálicas e condutores não-metálicos para somar os efeitos individuais dos pares. Ele inventou não apenas o aparelho que denominamos *pilha*, mas também outro dispositivo utilizando copos com água salgada, unidas por condutores metálicos.



(a)



(a)

Figura 8. A pilha inventada por Volta em 1799 era constituída por uma série de pares de discos de dois metais diferentes (geralmente zinco e prata ou zinco e cobre) intercalados com discos de papel molhado com água salgada (a). Volta apresentou seus experimentos em 1801 em Paris, diante de membros da Academia de Ciências, Napoleão Bonaparte e outras autoridades (b)

A pilha foi um sucesso, mas não poderia levar imediatamente à vitória da interpretação de Volta. Mesmo em 1800, permaneciam dúvidas científicas razoáveis de que os pares metálicos (ou a pilha de Volta) geravam realmente eletricidade, ou de que gerava *apenas* eletricidade (Kipnis, 1987). É relevante indicar que Volta não dispunha de uma teoria que pudesse explicar adequadamente o funcionamento da pilha. Qual era o papel do líquido condutor? Por que motivo a série prata-líquido-zinco-prata-líquido-zinco-prata-líquido-zinco-etc. funcionava, mas a série prata-metal-zinco-prata-metal-zinco-prata-metal-zinco-etc. não funcionava? Isso não ficou claro, nem em 1800 nem nos anos seguintes.

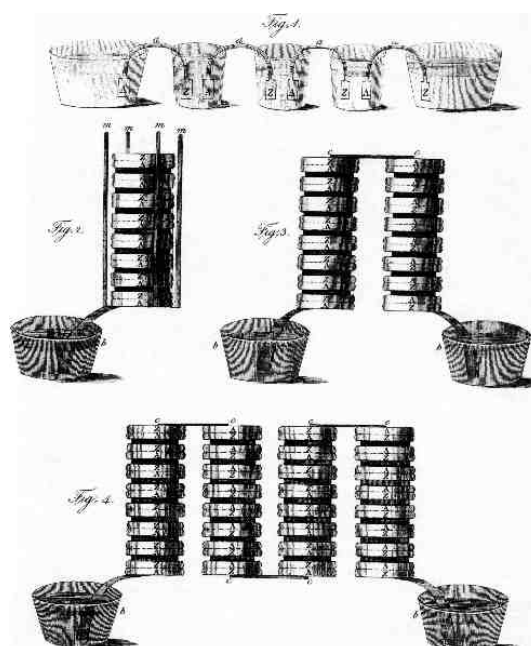


Figura 9. No artigo de 1800, em que divulgou sua invenção, Volta apresentou dois tipos de aparelhos: um dispositivo formado por uma série de copos interligados por fios aos quais estavam presas placas de prata e zinco, e o dispositivo em que discos de prata e zinco eram empilhados, vindo daí o nome de *pilha*

Choques e peixes elétricos

Através de seus dispositivos, Volta foi capaz de produzir efeitos fortes, com fenômenos semelhantes aos produzidos com as garrafas de Leyden. No artigo publicado em 1800, no qual descreveu o seu invento, Volta escreveu:

O mais importante desses resultados, que inclui muitos dos outros, é a construção de um aparelho que é semelhante em seus efeitos - isto é, pela comoção que produz nos braços, etc. - às garrafas de Leyden, ou

melhor, a baterias elétricas⁵ fracamente carregadas (...)
(Volta, 1800, p. 403).

Com uma pilha constituída por algumas dezenas de elementos, era possível sentir choques bastante fortes, e repetir esse tipo de experimento se tornou uma diversão popular, rapidamente.



Figura 10. Na época em que Volta inventou sua pilha, dava-se o nome de *bateria* a certos conjuntos de garrafas de Leyden interligadas, capazes de armazenar grande quantidade de eletricidade. No seu artigo de 1800, Volta comparou os efeitos das pilhas com os choques produzidos por baterias

Grande parte do famoso artigo de Volta de 1800 era dedicado a mostrar que seu novo aparelho podia produzir choques semelhantes ao das enguias e dos “torpedos” (nome dado às arraías elétricas). Os peixes *elétricos* haviam sido descritos por John Walsh em 1772, e estudados por Henri Cavendish em 1775 (Berry, *Henry Cavendish*, p. 111). Eles produziam fortes comoções em quem os tocava, semelhantes às que eram sentidas tocando-se garrafas de Leyden carregadas. No entanto, era impossível observar efeitos eletrostáticos produzidos pelos peixes, e nunca tinham sido notadas faíscas quando eles produziam choques. Cavendish explicou esse fato utilizando noções semelhantes às de tensão elétrica e de carga total transmitida no choque: [...] *a força do*

choque depende mais da quantidade do fluido [carga elétrica] que passa por nosso corpo, do que da força [tensão] com a qual ele é impelido (Berry, *Henry Cavendish*, p. 114).

Uma garrafa de Leyden comum, para produzir um choque apreciável, precisa estar carregada com uma alta tensão, pois tem pequena capacidade. No entanto, formando-se uma bateria elétrica pela união de muitas garrafas de Leyden colocadas em paralelo, era possível armazenar-se uma carga significativa com uma pequena tensão. Essa bateria podia, assim, produzir um choque considerável, mesmo quando incapaz de produzir faíscas. Cavendish conjecturou que o *torpedo* produzia também eletricidade em grande quantidade, mas à baixa tensão. Baseando-se nessa hipótese, ele foi capaz de construir um *torpedo artificial*, com o qual conseguiu reproduzir todos os fenômenos que haviam sido descritos com o peixe elétrico (Berry, *Henry Cavendish*, p. 118).

Era possível dispor-se de garrafas de Leyden carregadas e de pilhas que produziam choques de intensidades semelhantes (avaliadas subjetivamente), mas quando se comparava tais aparelhos sob outros pontos de vista (por exemplo, ação sobre um eletroscópio), eles tinham propriedades diferentes.

Volta utilizou idéias semelhantes a estas em seu artigo de 1800, comparando os efeitos produzidos por sua pilha aos do torpedo e aos de baterias. Concluiu que a pilha tinha propriedades semelhantes a uma bateria de garrafas de Leyden fracamente carregadas, mas de grande capacidade, não sendo capaz, no entanto, de produzir fortes faíscas e efeitos eletrostáticos notáveis, como os de uma garrafa de Leyden fortemente carregada.

Atrações e repulsões

A principal propriedade da eletricidade obtida por atrito - a propriedade que levou à descoberta da eletricidade - era a atração (e repulsão). Teria o *fluido* produzido pela pilha essa propriedade?

No artigo em que descobriu seu invento, Volta relatou que era capaz de observar com um eletrômetro o efeito de uma pilha com 20 pares metálicos - mas apenas utilizando seu condensador (Volta, 1800, pp. 406-407). Imediatamente após a divulgação do trabalho de Volta, William Nicholson e Anthony Carlisle construíram uma pilha com 17 elementos e aplicaram-na a um eletrômetro de folhas de ouro muito sensível (Nicholson, 1800). Não notaram nenhum efeito. O eletroscópio só mostrou uma deflexão quando utilizaram um *duplicador giratório* - um instrumento construído por Nicholson utilizando o mesmo princípio do condensador de Volta.

⁵ No contexto da época, *bateria elétrica* significava um conjunto de garrafas de Leyden ou dispositivos semelhantes, ligados entre si em paralelo, de modo a armazenar uma grande quantidade de eletricidade.

Assim, mesmo após 1800, ainda havia algumas dúvidas razoáveis a respeito da identidade entre os fenômenos produzidos pela eletricidade [estática] e pelos fenômenos *galvânicos* ou *voltaicos*. De acordo com Van Mons, apesar das semelhanças existentes, Fourcroy concluiu que a pilha produzia um fluido diferente da eletricidade:

Seu principal argumento é que o fluido da pilha não produz efeitos (ou quase não produz) sobre os eletrômetros mais sensíveis, e que o fluido das máquinas elétricas não produz nenhum dos efeitos químicos da pilha galvânica (Van Mons, carta para Volta, 15 de julho de 1801, reproduzida em: Volta, *Epistolario*, vol. 3, carta 1172, pp. 48-49)⁶.

Volta se empenhou por conseguir efeitos observáveis com eletroscópios. Utilizando grandes pilhas, com 80, 100 ou 150 elementos, ele foi capaz de produzir pequenas deflexões (de um ou dois graus) em seu eletrômetro de palhas (Volta, carta para Ambrosius Barth, 29 de agosto de 1801, reproduzida em: Volta, *Epistolario*, vol. 3, carta 1176, pp. 54-56)⁷.

Em 1801, Volta realizou uma viagem à França para divulgar e defender seu trabalho. Na comunicação que apresentou à Academia de Ciências de Paris, em outubro desse ano, (Volta, 1801a), ele também tratou da questão da natureza elétrica do galvanismo. Novamente, precisou recorrer ao condensador para conseguir mostrar efeitos elétricos (eletrostáticos) da pilha. De acordo com Christian Heinrich Pfaff, no entanto, Volta teria utilizado em Paris uma pilha com 60 elementos, conseguindo produzir uma deflexão de um grau com seu eletrômetro de palhas (Pfaff, carta ao editor do jornal *Allgemeine Litteratur Zeitung*, 8 de outubro de 1801, reproduzida em: Volta, *Epistolario*, vol. 3, carta 1187a, pp. 65-66)⁸. Nessa carta, Pfaff também enfatizou que Volta tinha sido capaz de carregar uma grande bateria (um capacitor composto, com área equivalente a 10 pés quadrados) utilizando sua pilha. No dia 10 de outubro de 1801, Volta escreveu uma carta a De La Métherie, descrevendo esses experimentos (Volta, 1801b)⁹.

O próprio Volta reconheceu que os fracos efeitos elétricos, produzidos por um par metálico e amplificados pelo condensador, não satisfaziam as

pessoas que queriam ver grandes efeitos [*effets en grand*]. Ele comentou que, para obter um efeito direto sensível usando seu eletroscópio de palhas, era necessário utilizar uma pilha com cerca de 60 pares de zinco-prata, e que mesmo nesse caso, as extremidades das palhas se afastavam apenas meia linha, ou seja, cerca de 1 mm (Volta, 1801b, p. 313).

Outros autores já haviam obtido efeitos elétricos observáveis, dois meses antes, utilizando a pilha de Volta. No fascículo de “Thermidor, ano 9” (julho/agosto de 1801) do *Journal de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle*, Paul Erman tratou desse assunto:

Era essencial encontrar procedimentos de observação galvanoscópicos e galvanométricos seguros para determinar o mecanismo da pilha galvânica e seguir todos os fenômenos passo a passo. Logo se sentiu essa exigência científica, mas ela não foi logo satisfeita; os primeiros observadores apenas conseguiram perceber ligeiros vestígios de divergência das bolas do eletrômetro. A balança de torsão, o condensador e mesmo o duplicador foram colocados em uso para capturar esses sinais fracos, evanescentes, que eram, portanto, demasiadamente equívocos para fornecer a teoria dos fenômenos (Erman, 1801, p. 121).

Erman notou que as principais condições necessárias para a obtenção de efeitos regulares e mensuráveis eram utilizar uma grande pilha (ele utilizou dois dispositivos com 100 elementos, em série) e um perfeito isolamento da pilha. Nessas condições, ele conseguiu observar uma atração entre um condutor ligado à pilha e uma bola de um eletroscópio presa a um fio de prata fino, com 2 pés de comprimento. A atração era notada quando a distância era inferior a 2 mm (cerca de uma linha). Quando o pólo oposto da pilha era conectado ao solo, Erman foi capaz de observar atrações até distâncias de 3 ou 4 linhas. Quando a bola tocava o condutor, eles se prendiam e só se soltavam quando o aparelho era sacudido com força (Erman, 1801, p. 124). Utilizando uma linha isolante, ao invés do fio de prata, ocorria primeiro uma atração e depois (quando eles se tocavam) uma repulsão entre a bola e o condutor preso à pilha. O fenômeno era parecido, portanto, aos efeitos eletrostáticos comuns. Ele também observou efeitos fortes utilizando um eletroscópio muito sensível. Relatou que, em muitos casos, as folhas de ouro divergiam tanto que tocavam as paredes do aparelho (Erman, 1801, p. 125).

No mesmo fascículo dessa revista, Johann Wilhelm Ritter relatou um experimento utilizando uma pilha com 84 pares de zinco-prata. Ele observou a atração entre duas folhas de ouro conectadas aos pólos opostos da pilha, quando a distância entre elas era de cerca de uma linha (Ritter, 1801, p. 152).

⁶ A produção de atração e repulsão observável com a pilha não era um *experimento crucial*, evidentemente, mas era uma evidência importante que estava faltando.

⁷ Esta carta foi publicada na revista *Annalen der Physik* 9:379, 1801.

⁸ Esta carta foi publicada em *Allgemeine Litteratur Zeitung* (n. 207): 489, 1801; e *Annalen der Physik* 9: 489-493, 1801.

⁹ Esta carta foi parcialmente reproduzida em Volta, *Epistolario*, vol. 3, carta 1188, pp. 67-68.

Notou também que a atração e a repulsão ocorriam mesmo dentro de um recipiente evacuado por uma máquina pneumática.

Pouco depois, Gautherot descreveu alguns experimentos sobre atrações elétricas produzidas com uma pilha voltaica:

Por fim, apresentarei minhas pesquisas sobre atração. Conectei à extremidade superior da pilha uma ponta de um fio muito fino de um cravo¹⁰ e deixei o resto do fio flutuar no ar. Na outra extremidade da pilha conectei outro fio metálico, e quando apresentei sua ponta livre à do primeiro fio, percebi um movimento do primeiro para o segundo; e quando os dois fios conseguiram se tocar, houve uma adesão muito clara: eles pareciam presos por algo semelhante a uma força magnética, e a força era tal que eu podia mover os fios em qualquer direção por alguns centímetros (Gautherot, 1801, p. 209).

Este e outros experimentos descritos por Gautherot mostravam uma semelhança entre os efeitos produzidos pela pilha de Volta e a atração produzida pela eletricidade de atrito¹¹.

Van Marum e Pfaff, logo depois, foram capazes de obter efeitos elétricos ainda mais fortes. Eles construíram uma pilha com 200 pares de zinco-prata e testaram seus efeitos utilizando um instrumento muito sensível - o eletrômetro de folhas de ouro desenvolvido por Abraham Bennet (Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th centuries*, p. 451). Eles relataram que as extremidades das folhas de ouro tinham se distanciado 5/8 de polegada (Van Marum, carta a Volta, 29 de novembro de 1801, reproduzida em: Volta, *Epistolario*, vol. 3, carta 1210, pp. 97-114)¹².

Estabelecer que dois fenômenos possuem uma propriedade em comum não prova que eles são da mesma natureza. Mesmo depois da obtenção de fortes evidências de que a pilha era capaz de produzir atração e repulsão como a eletricidade produzida por fricção, ainda restaram dúvidas de que a pilha produzia apenas eletricidade. Vassalli, que era favorável às idéias de Galvani, aceitou que tais experimentos “não deixam dúvida de que o aparelho galvânico produz eletricidade” (Vassalli-Eandi, 1804, p. 154). No entanto, ele enfatizou que a pilha produzia fortes contrações musculares, mas fracos efeitos elétricos, enquanto que o oposto ocorria no

caso da eletricidade obtida por atrito. Por essa razão, ele considerava que a pilha produzia *dois fluidos diferentes*: eletricidade e um novo fluido, o qual seria a causa das contrações musculares, e que seria produzido por reações químicas na pilha (Vassalli-Eandi, 1804, p. 155).

Em 1805, já no fim de sua carreira científica produtiva, Volta escreveu sua tentativa mais completa de provar a identidade entre os fluidos elétrico e galvânico (Volta, *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico*). Ele inscreveu esse trabalho em um concurso, com o objetivo de ganhar um prêmio oferecido ao melhor estudo sobre o assunto. Ao invés de submeter o trabalho com seu próprio nome, apresentou-o como se tivesse sido escrito por um de seus alunos (Heilbron 1970, p. 80)¹³. O trabalho apenas foi publicado em 1814, por Pietro Confiachi.

Nesse trabalho de 1805, Volta informou que Humboldt, Tiberio Cavallo, Vassalli, Aldini e De Luc ainda não aceitavam que os efeitos produzidos pela pilha fossem devidos apenas à eletricidade (Volta, *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico*, pp. 10-12, 14). Para tentar estabelecer essa identidade, Volta descreveu muitos argumentos e experimentos que já haviam sido apresentados em publicações anteriores. Com relação à repulsão elétrica, Volta novamente alegou que seus primeiros experimentos mostrando o efeito de um único par metálico, através do condensador, deveriam ter sido decisivos (Volta, *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico*, pp. 19-20). No entanto, admitiu que não havia convencido a todos, e que por essa razão, havia tentado produzir efeitos mais fortes - e aqui surge a importância da pilha. Como descrito acima, no relato que publicou em 1801, Volta tinha utilizado uma pilha com 60 pares de zinco-prata para produzir efeitos mais fortes. Agora, ele relatou experimentos realizados com uma pilha construída com 150 elementos. Com esse dispositivo e sem utilizar o condensador, ele tinha sido capaz de produzir uma deflexão de 2 graus e meio em seu eletrômetro de palhas (Volta, *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico*, p. 33) - um pouco mais de 2 mm de separação entre as extremidades das palhas. Esse foi o maior efeito que ele jamais chegou a descrever. Volta comentou que para produzir um efeito direto realmente grande em seu eletrômetro - por exemplo, uma deflexão que chegasse a 35 graus -, teria sido necessário construir

¹⁰ Trata-se do instrumento musical, evidentemente.

¹¹ Um experimento semelhante a este foi relatado pelo jurista italiano Gian Domenico Romagnosi, em um trabalho que foi depois incorretamente interpretado como equivalente à descoberta do eletromagnetismo por Ørsted. Veja-se, a esse respeito: Martins, 1999.

¹² Esta carta foi publicada em: *Annales de Chimie* 40: 289-334, 1801.

¹³ Nesse trabalho, Volta se refere a si próprio na terceira pessoa: (...) *il nostro Volta Professore di Fisica Sperimentale nell'Univeristà di Pavia e venerato mio Maestro* (Volta, *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico*, p. 2).

uma pilha com cerca de 1800 a 2000 pares de elementos de cobre-zinco (Volta, *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico*, p. 61).

A memória apresentada por Volta em 1805 tentava apresentar evidências convincentes de que a pilha realmente produzia eletricidade, combinando uma série de argumentos diferentes. Nessa época, ele considerava como decisivo o experimento no qual carregava grandes baterias elétricas em um tempo muito curto, utilizando uma pilha - e mostrando que, nesses casos, ambos os dispositivos adquiriam a mesma tensão elétrica, medida por um eletrômetro (Volta, *L'identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico*, p. 31). Volta apresentou também uma análise e uma explicação detalhadas das diferenças entre os efeitos fisiológicos produzidos pelas pilhas e pelas garrafas de Leyden (ou por baterias). Como em trabalhos anteriores, a observação de efeitos elétricos (estáticos) era apenas uma parte do argumento a favor da natureza elétrica da pilha - mas uma parte central.

Discussão

Ao longo dos anos, Volta empenhou-se por defender a identidade entre o fluido galvânico e a eletricidade obtida por atrito, conquistando gradualmente aliados para sua hipótese. A argumentação utilizada por ele empregava não apenas um grande número de novos arranjos e experimentos, mas também uma interpretação teórica original dos fenômenos, procurando esclarecer em que condições e por que motivo as pilhas podiam produzir efeitos diferentes dos observados com a eletricidade gerada por atrito. A invenção da pilha foi um passo importante, mas não decisivo, nessa longa luta desenvolvida por Volta.

Nem Volta nem outros autores da época discutiram explicitamente os problemas metodológicos subjacentes a esses trabalhos. A questão metodológica central é esta: Como se pode fundamentar a identidade ou diversidade de causas de dois fenômenos semelhantes?

Em primeiro lugar, é necessário indicar que a palavra *identidade* não deve ser entendida de forma literal. Duas coisas são idênticas se não existem distinções entre elas. Se duas coisas forem iguais sob todos os aspectos, não existe motivo para discutir se são da mesma natureza ou não.

Devemos, portanto, colocar de forma mais clara nossa questão: Como se pode estabelecer se dois fenômenos semelhantes, mas diferentes, são *essencialmente idênticos*?

A idéia subjacente a esse tipo de questão é a de que duas coisas podem ser iguais em seus aspectos

mais fundamentais, porém possuírem diferenças *superficiais* ou *acidentais* - para utilizar a terminologia filosófica adequada. Os aspectos mais fundamentais seriam aqueles que *definem* a natureza do fenômeno. Os aspectos acidentais seriam aqueles que não fazem parte da natureza essencial do fenômeno, e que estão, por assim dizer, sobrepostos ao núcleo imutável daquele fenômeno, sendo variáveis e influenciáveis por fatores externos.

Suponhamos que estamos comparando dois tipos de fenômenos A e B. Suponhamos que eles possuem em comum diversas propriedades ($c_1, c_2, c_3, \dots$), mas que diferem por outros aspectos ($a_1, a_2, a_3, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots$). Para tentar fundamentar a proposição de que os dois fenômenos A e B são essencialmente idênticos, deve-se tentar estabelecer que:

1. Algumas das propriedades comuns ($c_1, c_2, c_3, \dots$) são essenciais a ambos os fenômenos, ou seja, representam sua própria natureza, e não podem ser alterados ou eliminados sem que os fenômenos deixem de ser o que são;
2. Todas as propriedades que diferenciam os dois fenômenos ($a_1, a_2, a_3, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots$) são acidentais, ou seja, podem ser alteradas conforme as circunstâncias em que os fenômenos ocorrem, sem que os fenômenos percam sua natureza fundamental.

Em relação ao ponto (2), diversos tipos de argumentos podem ser utilizados: pode-se tentar mostrar que as diferenças existentes são o resultado de condições especiais dos experimentos, que podem ser controladas e alteradas dentro de limites amplos; pode-se tentar mostrar que existe uma transição gradual entre os dois tipos de fenômenos, ou que existem outros fenômenos que formam uma ponte entre eles.

No final do século XVIII, eram conhecidas muitas propriedades da eletricidade produzida por atrito, que chamaremos simplesmente de *eletricidade*:

1. A eletricidade é de dois tipos, e produz atrações e repulsões;
2. Eletricidades de tipos opostos podem se neutralizar, e de um corpo não elétrico pode ser extraído os dois tipos de eletricidade;
3. A eletricidade pode ser transmitida por metais, água contendo sais e ácidos, etc.; e ela não pode ser transmitida (ou é transmitida dificilmente) por vidro, cristal, madeira seca, ar, água destilada, etc.;
4. A eletricidade pode ser acumulada em aparelhos especiais (como as garrafas de Leyden);

5. Em certas circunstâncias, a eletricidade pode saltar entre dois condutores, produzindo uma faísca visível;
6. Uma descarga elétrica pode produzir contrações musculares em animais preparados adequadamente e, em certas circunstâncias, uma descarga elétrica através de uma pessoa pode ser sentida como um choque.

Havia, ao final do século XVIII, todo um arsenal de instrumentos destinados a produzir, acumular, concentrar, transmitir e mostrar os efeitos da eletricidade. Havia centenas de diferentes experimentos elétricos descritos nos livros. É provável, no entanto, que os físicos do final do século XVIII concordassem que a lista acima contém as principais propriedades da eletricidade.

O galvanismo foi descoberto pelo estudo de fenômenos do tipo (6). Logo depois, os estudos de Galvani permitiram estabelecer que os efeitos galvânicos podiam ser transmitidos por materiais que também transmitiam a eletricidade, sendo impedidos por madeira seca e vidro, que eram isolantes elétricos. Mas o calor também é mais facilmente transmitido pelos metais do que pelo vidro e madeira, e nem por isso é da mesma natureza que a eletricidade. Quais seriam, afinal, os aspectos *essenciais* da eletricidade e que poderiam servir para uma comparação com o galvanismo?

Creio que os efeitos de atração e repulsão seriam considerados, na época, como as propriedades mais fundamentais da eletricidade. O estudo histórico apresentado neste artigo mostrou que não apenas Volta, mas também vários outros autores da época, se dedicaram a tentar produzir atrações e repulsões com a pilha, e que consideravam esse aspecto como de grande importância - talvez de importância decisiva - para determinar a natureza do galvanismo. Uma das dificuldades era mostrar atrações e repulsões *suficientemente fortes*, e isso foi possível utilizando pilhas cada vez maiores. Havia, no entanto, um outro aspecto que parece ter escapado aos autores da época: teria sido necessário mostrar atrações e repulsões *entre o fluido galvânico e a eletricidade produzida por atrito* - e ninguém tentou fazer isso.

Vamos explicar esse ponto. Assim como há dois tipos de eletricidade, há dois tipos de magnetismo, e pode-se produzir atrações e repulsões com ímãs. No entanto, isso não indica uma identidade essencial entre magnetismo e eletricidade, pois ímãs não atraem nem repelem cargas elétricas, e vice-versa. Seria perfeitamente plausível que o galvanismo pudesse ser um outro tipo de fenômeno, que também manifestasse atrações e repulsões, mas que

fosse distinto da eletricidade e do magnetismo. Para fundamentar essa identidade, teria sido necessário buscar evidências de que o fluido galvânico era capaz de atrair e repelir cargas elétricas produzidas por atrito, e vice-versa; e que o fluido galvânico era capaz de neutralizar cargas elétricas produzidas por atrito.

Outra parte da tarefa de substanciar a identidade entre galvanismo e eletricidade consistia em mostrar que as diferenças observadas eram acidentais. Grande parte do trabalho de Volta foi dedicado a esse outro aspecto, tentando mostrar que era possível obter choques e efeitos eletrostáticos semelhantes, utilizando-se grandes pilhas e grandes baterias elétricas. No entanto, o sucesso de Volta foi apenas parcial, pois as pilhas não produziam uma tensão suficientemente alta para produzir descargas como as das garrafas de Leyden. É difícil compreender o motivo pelo qual Volta não se empenhou em construir pilhas ainda maiores, com milhares de elementos - como as que foram montadas logo depois na Inglaterra - para apresentar evidências ainda mais claras da semelhança entre o galvanismo e a eletricidade. Certamente, o custo de construção de uma pilha com milhares de pares cobre-zinco não estava acima de suas possibilidades econômicas.

Agradecimentos

O autor agradece o apoio recebido da Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

Referências bibliográficas

- Bernardi, W. *The controversy on animal electricity in 18th century Italy: Galvani, Volta and the other protagonists*, 1999. No prelo.
- Berry, A.J. *Henry Cavendish: his life and scientific work*. London: Hutchinson, 1960.
- Erman, P. Sur les phénomènes électrométriques de la colonne de Volta. *J. Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts* 53:121-134, 1801.
- Gautherot, N. Mémoire sur le galvanisme. *Annales de Chimie ou Recueil* 1(39):203-210, 1801.
- Heilbron, J.L. *Electricity in the 17th and 18th centuries: a study of early modern physics*. Berkeley: University of California Press, 1979.
- Heilbron, J.L. Volta, Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio. In Gillispie, C.C. (ed.). *Dictionary of scientific biography*. New York: Charles Scribners Sons, 1970. p. 69-82. v.14.
- Kipnis, N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. *Ann. Sci.*, 44:107-142, 1987.
- Magie, W.F. *A source book in physics*. New York: McGraw-Hill, 1935.

- Martins, R.A. *Romagnosi and Volta's pile: early difficulties in the interpretation of voltaic electricity*, 1999. No prelo.
- Mertens, J. Shocks and sparks: the voltaic pile as a demonstration device. *Isis*, 89:300-311, 1998.
- Nicholson, W. Account of the new electrical or galvanic apparatus of Sig. Alex. Volta, and experiments performed with the same. *J. Natural Philosophy, Chemistry, and the Arts*, 4:179-187, 1800.
- Ritter, J.W. Notice des phénomènes d'attraction et de répulsion, dépendant de la pile galvanique. *J. Physique, de Chimie, d'Histoire Naturelle et des Arts*, 53:152-155, 1801.
- Vassalli-Eandi, A.-M. Expériences et observations sur le fluide de l'électro-moteur de Volta. In: *Mémoires de l'Académie des Sciences, Littérature et Beaux-Arts de Turin por les annés X et XI. Sciences Physiques et Mathématiques*, 12:123-156, 1804.
- Volta, A. Del modo di render sensibilissima la più debole elettricità. *Philosoph. Transact. Royal Soc. London*, 72:237-280, 1782.
- Volta, A. On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. *Philosoph. Transact. Royal Soc.*, 90:403-431, 1800.
- Volta, A. De l'électricité dite galvanique. *Annales de Chimie*, 40:225-256, 1801a.
- Volta, A. Lettre du professeur Volta a J.-C.: delamétherie, sur les phénomènes galvaniques. *J. de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle*, 53:309-316, 1801b.
- Volta, A. *Epistolario*. Bologna: Nicola Zanichelli, 1949-1955. 5v.

Received on July 28, 1999.

Accepted on September 29, 1999.