

## 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@fi.unicamp.br, home-page http://www.fi.unicamp.br/~ghci/

**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 aconteciam 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 eletrometros. 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 fenômenos<sup>1</sup>. 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 exprimir 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.

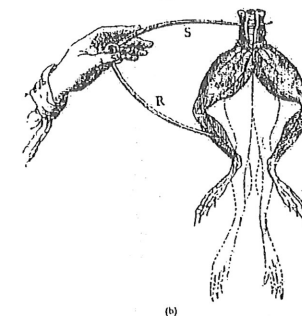


Figura 1. As observações realizadas por Luigi Galvani (1737-1798) (a) sobre contrações de pernas de rãs dissecadas à eletricidade ou ao contato com pares metálicos (b) foram origem às pesquisas de Volta, que culminaram com a invenção da pilha elétrica

<sup>1</sup> A descrição original foi publicada em latim: *De virtibus 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.

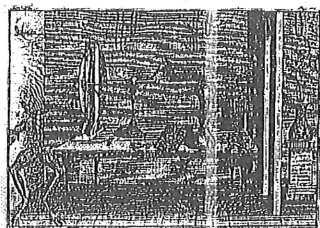


Figura 2. As primeiras observações de Galvani sobre contrações de pernas de rãs ocorreram por acaso, quando uma rã era dissecada próxima a uma máquina que produzia eletricidade estática. Galvani realizou então vários experimentos em que estudou esse tipo de fenômeno, utilizando diversas fontes de eletricidade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

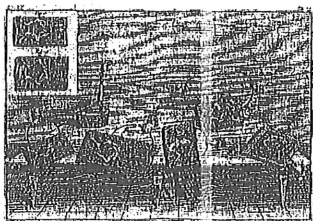


Figura 3. Após perceber que as pernas das rãs se contraiam pelo mero contato com metais, Galvani realizou experimentos sistemáticos conectando a medula vertebral das rãs com os músculos de suas pernas, através de condutores metálicos, para tentar descobrir as propriedades do fenômeno (ilustração 3 da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

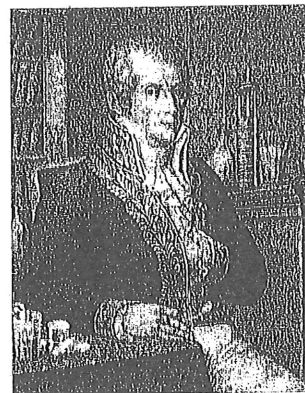


Figura 4. Alessandro Volta (1745-1827), tendo ao fundo uma de suas pilhas elétricas

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 espinal 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 eletrometro disponível<sup>2</sup>, produzia ainda efeitos de contração observáveis. Assim sendo, talvez fosse impossível detectar diretamente, por um eletrometro, o efeito elétrico produzido pelo par metálico.

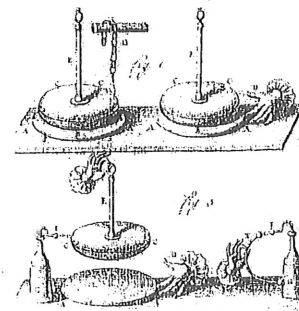


Figura 5. Em 1775, Alessandro Volta desenvolveu um aparelho denominado *eletrôforo*, capaz de produzir cargas elétricas por um processo que atualmente chamamos de *indução eletrostática*. O *eletrôforo* era constituído por dois discos metálicos, estando o disco inferior recoberto por uma resina isolante. 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,

<sup>2</sup> Volta utilizava um eletrometro com palhas, que era um pouco menos sensível do que os eletroímetros de folha de ouro.

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

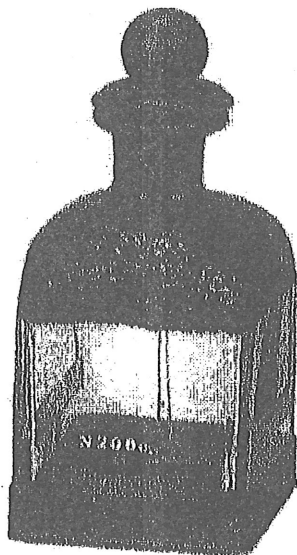


Figura 6. Para medir tensões elétricas, Volta desenvolveu um eletrômetro no qual, ao invés de folhas de ouro (utilizadas por Abraham Bennet), empregava duas hastes de palha, bem finas. O ângulo formado entre as palhas era aproximadamente proporcional à tensão elétrica.

Volta já tinha experiência em lidar com fracas tensões elétricas. Ele havia desenvolvido, em 1782, um aparelho chamado *condensador*<sup>3</sup>, 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.

<sup>3</sup> Não confundir com os capacitores elétricos.

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 novo contato mútuo – a 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

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

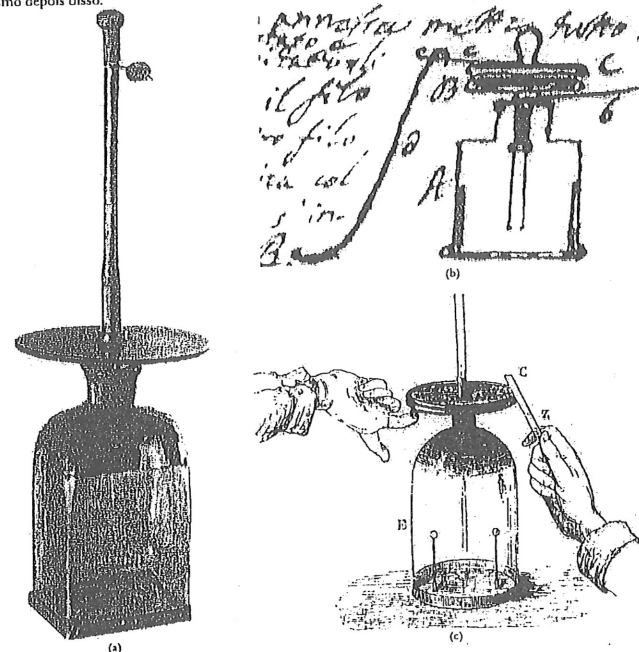


Figura 7. Unindo os princípios do eletrômetro e do eletróforo, Volta criou o *eletrometro condensador*. Tratava-se de um eletrômetro ao qual se aditava um disco metálico recoberdo com uma fina camada isolante. Um segundo disco, dotado de uma haste isolante, era colocado sobre o primeiro. Tocava-se o 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 eletrômetro.

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 eletrômetro de Volta<sup>4</sup>. 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

<sup>4</sup> Uma deflexão de 1° no eletrômetro 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.

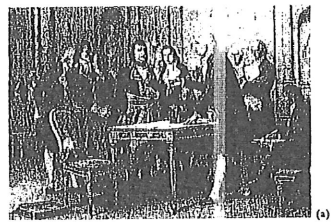
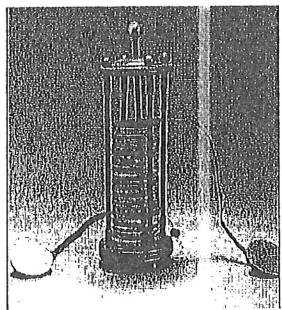


Figura 8. A pilha inventada por Volta em 1799 era constituída por uma série de pares de discos de dois metais diferentes (geralmente zinco e prata ou zinco e cobre) intercalados com discos de papel molhado com água salgada. (a). Volta apresentou seus experimentos em 1801 em Paris, diante de membros da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

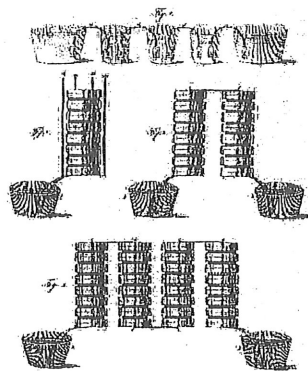


Figura 9. No artigo de 1800, em que divulgou sua invenção, Volta apresentou dois tipos de aparelhos: um dispositivo formado por uma série de copos interligados por fios aos quais estavam presas placas de prata e zinco, e o dispositivo em que discos de prata e zinco eram empilhados, vindo daí o nome de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

*melhor, a baterias elétricas<sup>5</sup> 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.

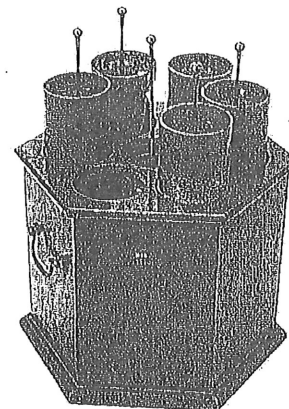


Figura 10. Na época em que Volta inventou sua pilha, dava-se o nome de *bateria* a certos conjuntos de garrafas de Leyden interligadas, capazes de armazenar grande quantidade de eletricidade. No seu artigo de 1800, Volta comparou os efeitos das pilhas com os choques produzidos por baterias

Grande parte do famoso artigo de Volta de 1800 era dedicado a mostrar que seu novo aparelho podia produzir choques semelhantes aos das enguias e dos "torpedos" (nome dado às arraia elétrica). 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 falscas 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 falscas. 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 falscas 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.

<sup>5</sup> 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 eletímetros mais sensíveis, e que o fluido das indústrias 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)<sup>6</sup>.*

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)<sup>7</sup>.

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 Literarische Zeitung*, 8 de outubro de 1801, reproduzida em: Volta, Epistolario, vol. 3, carta 1187a, pp. 65-66)<sup>8</sup>. 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 Méthérie, descrevendo esses experimentos (Volta, 1801b)<sup>9</sup>.

O próprio Volta reconheceu que os fracos efeitos elétricos, produzidos por um par metálico e amplificadas 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:

*Em essencial encontrar procedimentos de observação galvanoscópica 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 torção, o condensador e mesmo o duplicador foram colocados em uso para capturar esses sinais fracos, evanescentes, que eram, portanto, demasiadamente eqüívocos 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).

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 cravo<sup>10</sup> e deixei o resto do fio flutuar no ar. No outro 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 atrito<sup>11</sup>.

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)<sup>12</sup>.

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)<sup>13</sup>. O trabalho apenas foi publicado em 1814, por Pietro Conflachi.

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. Como 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

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

<sup>7</sup> Esta carta foi publicada na revista *Annalen der Physik* 9:378, 1801.

<sup>8</sup> Esta carta foi publicada em *Allgemeine Literarische Zeitung* (n. 207): 489, 1801; e *Annalen der Physik* 8: 489-493, 1801.

<sup>9</sup> Esta carta foi parcialmente reproduzida em Volta, *Epistolario*, vol. 3, carta 1188, pp. 87-88.

<sup>10</sup> Trata-se do instrumento musical, evidentemente.

<sup>11</sup> 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.

<sup>12</sup> Esta carta foi publicada em: *Annalen de Chimie* 40: 289-334, 1801.

<sup>13</sup> Nesse trabalho, Volta se refere a si próprio na terceira pessoa: (...) il nostro Volta Professore di Fisica Sperimentale nell'Università di Pavia e venenato mio allievo (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 na 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 possuem 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 inmutável 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 (c1, c2, c3, ...), mas que diferem por outros aspectos (a1, a2, a3, ..., b1, b2, b3, ...). 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 (c1, c2, c3, ...) 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 (a1, a2, a3, ..., b1, b2, b3, ...) 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 falsa 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 18<sup>th</sup> 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 Réueil* 1(39):203-210, 1801.
- Heilbron, J.L. *Electricity in the 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> 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.
- Kippnis, N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. *Ann. Sci.*, 44:107-142, 1987.
- Maggie, 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-Andri, 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 pour les années 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.: delaméthérie, 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.





## O Contexto da Invenção e Divulgação da Pilha Elétrica por Alessandro Volta

ROBERTO DE ANDRADE MARTINS

Em 20 de março de 1800 Alessandro Volta escreveu uma famosa carta ao Presidente da Royal Society de Londres, Sir Joseph Banks, comunicando-lhe a invenção de um novo tipo de aparelho que mais tarde se tornou conhecido sob o nome de pilha elétrica. A correspondência foi logo publicada sob forma de artigo nos anais da *Royal Society (Philosophical Transactions)*. A repercussão foi positiva e imediata. O aparelho foi reproduzido e utilizado por toda parte, e em pouco tempo surgiram novas descobertas científicas importantes, como a decomposição da água pela eletricidade.

Para nós, leitores do final do século 20, o esboço da carta de Volta suscita surpresa. A descrição da construção do aparelho é acompanhada por uma longa análise dos efeitos fisiológicos produzidos pela pilha, deixando de lado a discussão dos aspectos puramente físicos, que esperaríamos encontrar. Para entender o estilo adotado por Volta na divulgação da pilha é necessário compreender o contexto dessa descoberta, e esse é o objetivo principal do presente artigo.

Na sua carta Volta descreveu a construção da pilha de forma bastante cuidadosa, o que permitiu que outras pessoas imediatamente construíssem aparelhos semelhantes. Ele recomendava utilizar discos de prata (P) e de zinco (Z), intercalados com discos de papel molhado

em água salgada (A), em uma seqüência do tipo: PZA-PZA-PZA-PZA...PZ (Volta, 1800, p. 406). No entanto, nesse trabalho ele não forneceu nenhuma explicação teórica para o funcionamento do aparelho.

A medida que descrevia a pilha, Volta indicava os efeitos fisiológicos que podiam ser obtidos com ela. Com 10 pares metálicos era possível sentir alguns choques, "que se assemelham à pequena comção que faz sentir uma garrafa de Leyden fracamente carregada, ou um torpedó extremamente enfraquecido, que imite melhor ainda os efeitos de meu aparelho, por causa da seqüência de repetidos choques que pode dar incessantemente" (Volta, 1800, p. 407). Com uma pilha de 40 a 50 pares a sensação se tornava dolorosa e insuportável (Volta, 1800, p. 410). O artigo continua com descrições de montagens de aparelhos equivalentes à pilha, mencionando apenas efeitos fisiológicos (choques). Volta comparou seu aparelho a arrua elétrica ("torpedó") e sugeriu que dentro do corpo desse animal existiria uma seqüência de membranas ou discos semelhante à estrutura da sua pilha (Volta, 1800, p. 416).

Mais adiante, Volta indicou que, além dos choques, a "corrente de fluido elétrico" podia também "irritar os órgãos do paladar, da visão, da audição e do tato" (Volta, 1800, p. 420). Descreveu as sensações produzidas na pele por

choques curtos, por correntes de duração mais longa e pela interrupção da corrente, enfatizando que a sensação é muito mais dolorosa quando a corrente elétrica atinge ferimentos (Volta, 1800, pp. 420-422). Volta descreveu em seguida que a corrente elétrica de uma pilha com poucos pares produz na língua uma sensação de sabor ácido ou amargo, conforme o sentido da corrente (Volta, 1800, p. 423). Com um outro arranjo, podia-se fazer a corrente elétrica passar pelo olho do experimentador, produzindo uma sensação luminosa. Volta descreveu diversas variações do experimento, como esta:

Mas a mais curiosa de todas essas experiências é manter a lâmina metálica entre os dentes serrados, e em contato com a ponta da língua, pois, quando se completa o circuito, da forma conveniente, as orelhas são suficientemente grande e estivei em boas condições, e se a corrente elétrica for bastante forte, excitava-se ao mesmo tempo uma sensação luminosa nos olhos, uma convulsão nos lábios, e mesmo na língua, uma picada dolorosa na ponta, seguida enfim da sensação de sabor (Volta, 1800, pp. 426-427).

Volta procurou também observar o efeito de uma corrente elétrica na audição, introduzindo sondas metálicas em ambos os ouvidos e conectando-as a um aparelho com 30 a 40 pares metálicos. Além de sentir um choque inicial, que sacudiu sua cabeça, sentiu um ruído difícil de definir (Volta, 1800, p. 427). No caso do nariz, não conseguiu produzir nenhuma sensação de odor. O artigo termina com uma análise do órgão elétrico do torpedão, questionando as explicações anteriores e defendendo novamente que esse animal dispõe de um órgão semelhante à pilha (Volta, 1800, pp. 429-431).

Este é o conteúdo do famoso artigo de Volta. Vejamos, agora, o seu contexto.

No final do século XVIII os fenômenos elétricos eram estudados sob diferentes aspectos. Por um lado, havia a electricidade gerada por atrito, que produzia atrações e repulsões e podia ser conduzida por metais. Havia a electricidade atmosférica, estudada por Benjamin

Franklin e outros pesquisadores, que também havia adquirido grande destaque. O conhecimento "popular" sobre a electricidade estava associado a descargas elétricas e choques, que eram exibidos em salões elegantes, sob a forma de uma ciência divertida. Além disso, grande parte da investigação "séria" dessa época estava voltada para fenômenos de natureza biológica, como os choques produzidos por certos peixes e as corruções de pernas de rãs estudadas por Galvani.

Os peixes "elétricos" (certos tipos de arraias e de enguias) haviam sido descritos por John Walsh e John Hunter no início da década de 1770, e estudados por Henri Cavendish em 1775 (Berry, *Henry Cavendish*, p. 111). Eles produzem fortes corruções em quem os toca, semelhantes às que eram sentidas tocando-se garrafas de Leyden carregadas. No entanto, era impossível observar faíscas ou efeitos eletrostáticos produzidos pelos peixes. Cavendish explicou essas propriedades e defendeu a natureza puramente elétrica do fenômeno. Para convencer seus colegas, construiu um torpedão artificial de madeira e couro, colocado em água salgada, conectado a garrafas de Leyden. As pessoas que o tocavam sentiam choques do mesmo tipo dos produzidos pelos peixes (Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th centuries*, p. 489).

Desde meados do século 18, após a criação da garrafa de Leyden, experiências com choques elétricos em pessoas e animais haviam se tornado comuns, e sabia-se que a electricidade produzia contrações musculares. O efeito foi estudado, por exemplo, por Giambattista Beccaria in 1753 (Pera, *The ambiguous frog*, pp. 54-55). Na década de 1770, Giuseppe Veratti e sua esposa Laura Bassi estudaram corruções de rãs submetidas a descargas elétricas (Bresadola, 1999, pp. 73-74).

Os experimentos elétricos sugeriram que talvez a electricidade tivesse um papel importante no funcionamento dos organismos vivos, mas a idéia mais aceita era a de que existia um "fluido nervoso" peculiar, gerado pelo cérebro e

transportado pelos nervos, capaz de atuar sobre os músculos (Horne, 1970). Alguns autores, como Bossier de Sauvages, Tommaso Laghi e Giambattista Beccaria, defenderam a idéia de que esse fluido nervoso era da mesma natureza que a eletricidade. Beccaria foi o mais influente defensor dessa idéia, na época (Simili, 1999, p. 50). Outros autores assumiam que existia uma "eletricidade animal" distinta, pertencente aos seres vivos, capaz de explicar as contrações musculares e movimentos. Os principais propagandistas dessa idéia foram o Abade Nicolas Bernholon e Giuseppe Cardini, em trabalhos premiados pela Academia de Lyon em 1780 (Bresadola, 1999, p. 72). Esses autores tiveram forte influência sobre Galvani.

Em 1791 Luigi Galvani (1737-1798) publicou a descrição de uma série de novos fenômenos. 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.

Depois de realizar grande número de experimentos, notou que rãs penduradas ao ar livre em uma cerca metálica pareciam sofrer contrações espontâneas. Pensou inicialmente que a eletricidade atmosférica havia se acumulado nas rãs, e que esta va 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. 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.

Como já foi citado, 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 claramente favorecia a idéia de que a eletricidade animal era diferente da eletricidade de comum:

[...] É adequado e razoável supor [...] que a eletricidade artificial atua sobre o nervo da mesma maneira que a [eletricidade] natural, mas que não é completamente igual; pois embora pareça muito semelhante, isso não está demonstrado, permitindo o suposto de que a eletricidade artificial age como um estímulo e determina a descarga [eletricidade] natural; o parece provável que seja qual for a diferença de natureza que exista entre elas, que isso ocorre através de alguma mutação, ou preparação e modificação, que a eletricidade comum sofre por parte da máquina animal [...] (citado de Galvani a Carmignani, 8.05.1792, em Galvani, *Commentary on the effect of electricity on muscular matter*, p. 85-96).

Alessandro Volta (1745-1827) tomou conhecimento dos trabalhos de Galvani, e repetiu com sucesso esses experimentos. 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 nos metais. Em preparações com rãs mortas era possível, algumas vezes, produzir contrações utilizando um único metal, mas as contrações eram muito mais fortes quando se utilizavam dois metais diferentes. Com rãs vivas, o efeito só era observado utilizando um par metálico. 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 ra função 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 (Haltborn, 1970, p. 77).

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, pp. 77-78). O experimento parecia decisivo contra Volta, mas este deu uma interpretação simples para o novo efeito: supôs que qualquer sequência de condutores diferentes poderia gerar efeitos elétricos. Analisando várias combinações diferentes de condutores metálicos e não-metálicos, Volta estabeleceu comparações entre suas "forças eletromotoras", sempre utilizando rãs como detectores.

Para enfatizar a existência de eletricidade gerada nos seres vivos, Galvani resolveu investigar as propriedades dos torpedos marinhos. Em maio de 1795 viajou para Senigallia e Rimini, onde estudou esses peixes, investigando se os choques eram transmitidos pelos mesmos condutores que transmitem a eletricidade artificial. Um relato resumido de seus resultados foi publicado em 1796 (Pupilli, 1953, p. xv).

Os peixes elétricos constituíam uma forte evidência de que os organismos vivos podiam produzir eletricidade (Santilli, 1999, p. 43). Esse tipo específico de "eletricidade animal", que só existia enquanto o peixe estava vivo, era um fenômeno que Volta não podia explicar com sua teoria de eletricidade gerada por metais.

Além de contrações em rãs, observou-se que a utilização de pares metálicos podia produzir certos efeitos sensoriais nos seres humanos.

Em maio de 1793 Volta realizou um experimento em que colocava dois metais diferentes em contato com a língua, e sentia um sabor ácido forte. Utilizando-se a eletricidade produzida por uma máquina eletrostática também podia ser excitada uma sensação semelhante. Um único condutor metálico não produzia efeitos desse tipo (Pera, *The ambiguous frog*, pp. 107-108). Aldini fez questão de assinalar que esses experimentos já haviam sido realizados 25 anos antes por Johann Sulzer (Aldini em Galvani, *Commentary on the effects of electricity on muscular motion*, p. 14).

John Robinson observou também, em 1793, que um pedaço de zinco e um de prata, aplicados ao olho, produziam uma sensação luminosa (Jacyna, 1999, p. 167). Esses experimentos foram descritos por Robinson a Richard Fowler, que desenvolveu uma pesquisa sistemática sobre os efeitos produzidos por pares metálicos nos órgãos sensoriais, confirmando os efeitos descritos por Robinson. Notou também que um par de metais podia produzir efeitos fortes nos ouvidos (Jacyna, 1999, pp. 171-172).

Fowler repetiu o experimento com os metais na língua, e considerou que o sabor excitado pelos metais era completamente diferente do que era produzido pela eletricidade. Concluiu que não se podia identificar o galvanismo à eletricidade, pois eles produziam sensações diferentes (Jacyna, 1999, pp. 170-171).

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 atrações em

rãs, mas não atrações ou repulsões visíveis. Volta dedicou grande parte de seu esforço à busca de evidências de que o contato entre dois metais produzia realmente eletricidade<sup>1</sup>. No entanto, como a tensão elétrica produzida por um único par de metais era muito pequena, era impossível observar diretamente efeitos não fisiológicos dessa eletricidade. Volta realizou vários experimentos indiretos, mas que não foram muito convincentes na época.

A pilha foi inventada como resultado da tentativa de Volta de produzir efeitos elétricos diretos mais fortes, a partir de pares metálicos. Em 1793, fazendo experimentos com diversas séries de metais, Volta percebeu que o efeito produzido por uma sequência de diferentes substâncias (por exemplo, ABCDE) era igual ao efeito produzido por seus extremos (AE). Por isso, um par ZP de zinco-prata, por exemplo, produzia o mesmo efeito que uma série ZPZPZPZP de pares desse tipo (Heilbron, *Electricity in the 17th and 18th centuries*, p. 493). Em 1799, entretanto, ele percebeu que inserindo um condutor úmido entre os pares metálicos era possível obter um efeito que era muito maior do que o de cada par metálico — e esse foi o passo fundamental na invenção da pilha voltaica.

Considerando-se todo o contexto de estudos fisiológicos em que surgiu a invenção da pilha, era natural que Volta dedicasse grande atenção a fenômenos desse tipo, na carta em que divulgou seu invento. A pilha não era capaz, por si só, de resolver as contruções existentes na época. Mas Volta deixou de lado todas as dificuldades ainda existentes, e preocupou-se apenas em divulgar os aspectos positivos de seu trabalho. Reproduzindo experimentos anteriores, mas mostrando que era possível aumentar progressivamente os efeitos utilizando pilhas com número cada vez maior de pares metálicos, Volta reforçava a idéia de que todos os fenômenos fisiológicos eram pro-

duzidos pela eletricidade externa, e não por uma eletricidade animal. No entanto, existiam seres vivos que aparentemente produziam seu próprio fluido elétrico, como os peixes elétricos. Enquanto não explicasse o que ocorria nesse caso, Volta estaria sujeito a críticas. Assim, ao construir sua pilha e apontar uma analogia com o órgão elétrico do torpedão, Volta estava eliminando uma forte objeção às suas idéias.

A pilha permitiu a Volta mostrar efeitos puramente físicos importantes (como produzir deflexões nos eletrômetros e carregar garrafas de Leyden), confirmando suas idéias anteriores de que o contato entre dois metais diferentes gerava uma força eletromotriz. Mas ele não enfatizou esses pontos na sua famosa carta de março de 1800, dedicando-se à discussão de efeitos fisiológicos, porque eram esses que chamavam maior atenção na época, sendo portanto de grande importância estratégica: tentar associar a pilha a esses fenômenos. Dessa maneira, Volta pretendia — e conseguiu — desviar a atenção dos pesquisadores dos fracos efeitos obtidos pelos técnicos de Galvani, e iniciar um novo período de investigações, no qual as pilhas eram empregadas para produzir todo tipo de choques, contrações em cadáveres humanos, efeitos sensoriais, etc., consagrando o trabalho de Volta e também sua interpretação desses fenômenos.

#### 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).

#### BIBLIOGRAFIA

- BESSY, A. *Henry Cavendish: his Life and Scientific Work*. London, Hutchinson, 1960.  
 BRESADOLA, Marco. Exploring Galvani's Room for Experiments, pp. 65-82. In BRESADOLA & PANICARDI (eds.) *Luigi Galvani: International Workshop*, 1999.

1. Esse aspecto do trabalho de Volta é estudado no artigo: MASTINA, 1999.

- BRESSADOLA, Marco & PASCALDI, Giuliano (eds). *Luigi Galvani International Workshop Proceedings*. Bologna, Università di Bologna, 1999.
- GALVANI, Luigi. *Commentary on the Effect of Electricity on Muscular Motion: a Translation of Luigi Galvani's De Virtute Electricitatis in Motu Musculari Commentarius*. Trad. Robert M. Green. Cambridge, MA, Elizabeths Litch, 1953.
- HEILSON, John L. *Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study of Early Modern Physics*. Berkeley, University of California Press, 1979.
- \_\_\_\_\_. "Volta, Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio", vol. 14, pp. 69-82. In Gillispie, Chadion Coustion (ed). *Dictionary of scientific biography*. New York, Charles Scribners Sons, 1970.
- HUME, Roderick. "Electricity and the Nervous Fluid". *Journal of the History of Biology* 3, pp. 233-251, 1970.
- JACYNIA, L. S. Galvanic Influences: Themes in the Early History of British Animal Electricity. pp. 167-185. In BRESSADOLA & PASCALDI (eds.), *Luigi Galvani International Workshop*, 1999.
- KENNEDY, Nathan. "Luigi Galvani and the Debate on Animal Electricity, 1791-1800". *Annals of Science* 44, pp. 107-142, 1987.
- MARTINS, Roberto de Andrade. "Alessandro Volta e a Invenção da Pilha: Dificuldades no Estabelecimento da Identidade entre o Galvanismo e a Electricidade". *Acta Scientiarum* 21 (4), pp. 923-95, 1999.
- PERK, Marcello. *The Ambiguous Frog: the Galvani-Volta Controversy in Animal Electricity*. Trad. J. Mandelbaum. Princeton, NJ, Princeton University Press, 1992.
- PUPILLI, Giulio C. "Introduction", pp. ix-xx. In GALVANI, *Commentary on the Effects of Electricity on Muscular Motion*, 1953.
- SIMILLI, Raffaella. "Luigi Galvani", pp. 33-63. In BRESSADOLA & PASCALDI (eds.) *Luigi Galvani International Workshop*, 1999.
- VOLTA, Alessandro. "On the Electricities Excited by the mere Contact of Conducting Substances of Different Kinds". *Philosophical Transactions of the Royal Society* 90, pp. 403-431, 1800.

## CONHECIMENTO OU CERTEZA

11



BRONOWSKI, J.  
A ESCALADA DO HOMEM  
SÃO PAULO, GO. MARTINS FONTES, 1983

175  
Os retratos mais  
exploram a face do  
que a fixam.  
Retrato de  
Stephan  
Borgrajewicz, por  
Feliks Topolski,  
Londres, 1972.

Um dos objetivos das ciências físicas era o de dar uma descrição exata do mundo material. A conquista da física do século XX foi mostrar que esse objetivo é inatingível.

Tome-se um objeto bastante concreto como a face humana. Estou ouvindo uma mulher cega, enquanto ela corre seus dedos pelas faces de um homem desconhecido, pensando em voz alta: "Eu diria que ele é idoso. Penso, obviamente, não ser ele inglês. Sua face é mais arredondada do que a da maioria da dos ingleses. Diria mesmo ser ele europeu; e até mais: do Leste da Europa. As linhas de seu rosto parecem de sofrimento. A princípio pensei tratar-se de cicatrizes. Não é uma face feliz".

O rosto era o de Stephan Borgrajewicz, que, como eu, era polonês. Na figura 175 ele pode ser visto segundo a concepção do artista polonês Feliks Topolski. Sabemos que essas pinturas não somente retratam uma face como também a analisam; o artista delinea os detalhes de tal forma que parece os estar tocando; e que cada linha adicionada reforça o retrato, sem nunca chegar a terminá-lo. Nós o aceitamos como o método do artista.

Mas a física também chegou ao ponto de mostrar ser esse o único método de conhecimento. Não há conhecimento absoluto. E os defensores deste, quercientistas, quer dogmáticos, nada mais fazem do que abrir a porta à tragédia. Toda informação é imperfeita. Assim, devemos tratá-la com humildade; essa é a condição humana e é o postulado da Física Quântica. Esta afirmação não é retórica: deve ser tomada ao pé da letra.

Observemos esse rosto submetido à cada faixa de todo o espectro eletromagnético. O ponto ao qual quero chegar é este: quão minucioso e quão exato é o detalhe desse rosto, que podemos ver com os melhores instrumentos do mundo — mesmo que fosse um instrumento perfeito se é que podemos concebê-lo?

Além disso, ver os detalhes não está confinado a vê-los através de luz visível. Em 1867 James Clerk Maxwell propôs ser a luz uma vibração eletromagnética, e as equações por ele montadas para demonstrá-lo indicaram existir outras. O espectro de luz visível, do vermelho ao violeta, é somente uma oitava, ou mais ou menos isso, no contínuo das radiações invisíveis. Há todo um teclado de informação, desde os comprimentos mais longos das