



Capítulo 1: Fundamentos da Eletricidade

1.1. PRIMÓRDIOS DOS ESTUDOS SOBRE A ELETRICIDADE

O âmbar é uma resina fóssil, de uma espécie de conífera (pinheiro) já desaparecida, possuindo cor amarela semi-transparente e, por combustão, exala um aroma muito agradável. Sendo fácil de polir e trabalhar, o âmbar foi muito usado para a fabricação de ornamentos tais como pulseiras e colares. Sua importância científica reside no fato de serem encontrados fósseis de insetos no seu interior, possibilitando o estudo de espécies já extintas.

Ao friccionar um pedaço de âmbar com um tecido, é possível atrair com ele pequenos pedaços de algodão, palha e outras substâncias leves. Atualmente sabe-se que isso deve-se ao fenômeno da eletricidade estática, segundo o qual ao friccionar-se o âmbar este adquire uma pequena carga elétrica. Já no sexto século antes de Cristo os gregos conheciam este fenômeno. É referido, a este propósito, o nome de Thales de Mileto (640 – 546 AC), como tendo efetuado esta experiência. Na Antigüidade houve várias teorias ou lendas que pretendiam explicar o poder de atração do âmbar quando friccionado. Segundo os gregos os grãos de âmbar eram lágrimas das imaginárias Helíadas, filhas do Sol. Outra teoria relacionava a cor do âmbar com o Sol e afirmava que dentro do âmbar existia grande quantidade de calor. Ao ser friccionado, o âmbar libertava este calor, ficando vazio no seu lugar. Segundo o filósofo grego Alexandre de Afrodísias, o âmbar atraía os corpos leves para tentar preencher o vazio deixado pelo calor, da mesma forma que um ventosa atrai um corpo para tentar preencher o vácuo que produz. Thales de Mileto realizou também experiências com pedaços do minério magnetita, que são ímãs naturais, e tentou fazer um relacionamento entre a atração do âmbar friccionado com a dos ímãs.

Em grego, o âmbar é designado pela palavra *ἤλεκτρον* (elektron), do qual originou-se a palavra ELETRICIDADE. O primeiro uso da palavra ELETRICIDADE foi feito no século XVI por William Gilbert (1540-1603), médico da rainha Isabel I de Inglaterra. Em 1600 ele publicou o livro *De Magnete* em que analisa os fenômenos de atração do âmbar e dos ímãs, considerando serem de naturezas diferentes. Gilbert é um dos precursores do que se conhece atualmente como **método científico**, segundo o qual só os conhecimentos verificados pela experiência podem ser considerados verdadeiros. Por isso, ele experimentou friccionar outras substâncias e concluiu que o poder de atração não era exclusivo do âmbar, pois outras substâncias como o vidro, o enxofre e muitas outras podiam atrair pequenos corpos, quando friccionadas. Estes corpos podiam ser pedaços de palha, como até aí se conhecia, mas também muitos outros, como as folhas de vegetais. Descobriu também que havia muitas substâncias que não era possível eletrizar como, por exemplo, os metais.

1.2. O PRIMEIRO GERADOR ELETROSTÁTICO

O alemão Otto von Guericke (1602-1686) foi engenheiro de construções militares, governador da cidade de Magdeburgo e diplomata. Na seqüência das experiências do inglês Gilbert sobre o fenômeno da atração entre corpos obtida por fricção, Guericke pensou em realizar experiências sobre o poder de atração de massas friccionadas, muito maiores do que as utilizadas até aí. Em 1672 publicou o livro *Experimenta Nova* onde explica como construir uma máquina para esse efeito. A sua construção consistia inicialmente em um globo de vidro que era enchido com enxofre fundido, após ter sido triturado num pilão. Depois de esfriar, partia-se o vidro e furava-se o globo com uma haste de ferro. Montando o conjunto numa base de madeira, fazia-se rodar o globo de enxofre com uma manivela e com a mão livre friccionava-se o globo com um pano, obtendo-se uma eficiente eletrização por atrito. Guericke fez experiências com penas de ave e verificou que estas eram atraídas para o globo, verificando também pequenas faíscas quando o globo eletrizado era descarregado, ao mesmo tempo que ouvia um pequeno ruído. Guericke interpretou corretamente estes fenômenos como sendo da mesma natureza dos relâmpagos e dos trovões. Porém de forma errônea Guericke tentou explicar o movimento da lua ao redor da terra como sendo de mesma natureza da atração elétrica que verificava com o seu gerador.

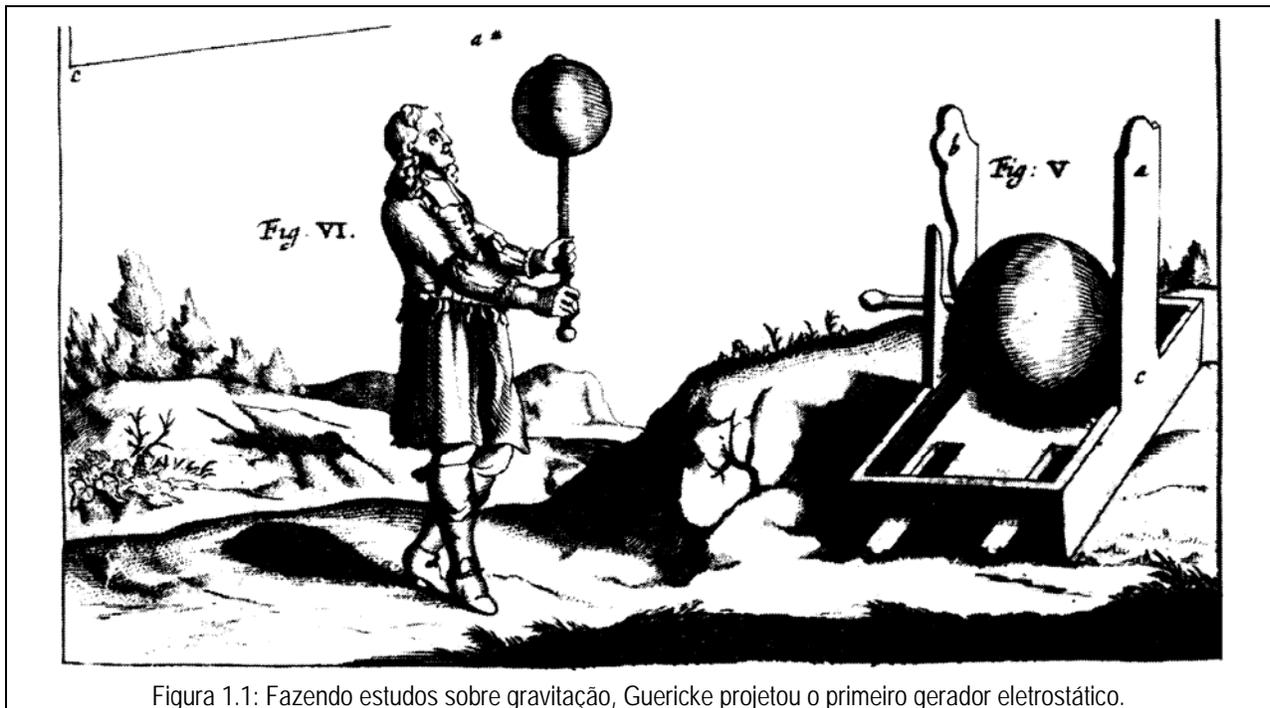


Figura 1.1: Fazendo estudos sobre gravitação, Guericke projetou o primeiro gerador eletrostático.

1.3. A BALANÇA DE COULOMB

As primeiras experiências com a eletricidade eram puramente qualitativas, não havendo unidades nem aparelhos de medida para quantificar os fenômenos elétricos. Com o avanço dos estudos começaram a ser dados passos no sentido da sua medida com a construção de vários aparelhos que permitiam visualizar vários níveis de eletrização, mas não havia unidades de medida normalizadas.

Na segunda metade do século XIX alguns cientistas determinaram experimental ou matematicamente a relação da diminuição da força entre cargas elétricas com o quadrado da distância entre elas ($1/d^2$).

Charles Augustin Coulomb (1736-1806) era um engenheiro militar francês interessado em questões científicas. Nesta última ocupação alguns trabalhos que realizou conduziram-no à balança de torção. Em 1777 Coulomb participou num concurso proposto pela Academia de Ciências francesa para o melhoramento das bússolas magnéticas, de grande importância para o uso em navios. Para melhorar a precisão da bússola, Coulomb suspendeu-a dum fio em vez de a assentar sobre um suporte e realizou um estudo minucioso sobre o magnetismo terrestre e sobre o aparelho que pretendia construir, nomeadamente sobre a torção do fio. Coulomb partilhou o prêmio da Academia com outro concorrente. Em 1779 a Academia propôs um estudo sobre as leis do atrito, de importância em diversas atividades ligadas à construção e exploração de navios. Coulomb ganhou o prêmio pelo seu trabalho apresentado em 1781, sendo eleito nesse ano para a Academia, o que vinha desejando há anos. Entre as diversas atividades que continuou a desenvolver, em 1784 apresentou um estudo sobre torção e elasticidade (na continuação de estudos anteriores) e construção de balanças de torção para medidas de precisão. Sobre este assunto, Coulomb leu na Academia em 1785 um trabalho, apenas publicada em 1788, que denominou “Primeira memória sobre a eletricidade e o magnetismo” com os seguintes sub-títulos, que são esclarecedores :

- “Construção de uma Balança elétrica, baseada na propriedade que têm os Fios de metal, de ter uma força de reação de Torção proporcional ao ângulo de Torção” ;
- “Determinação experimental da lei segundo a qual os elementos dos Corpos eletrizados com o mesmo tipo de Eletricidade se repelem mutuamente”.

A balança que Coulomb construiu permite medir com boa precisão a atração e a repulsão entre pequenas esferas de medula de sabugueiro. Através de diversas experiências, Coulomb concluiu que a força elétrica de repulsão ou de atração varia na função inversa do quadrado das distâncias ($1/d^2$). A balança parecia ser de difícil manuseamento para dela obter resultados confiáveis. Ao longo dos anos diversas experiências com esta e com outras balanças foram feitas e os resultados apresentados por Coulomb foram questionados por outros cientistas, mas a lei de Coulomb acabou por ser reconhecida. A balança, por seu lado, foi sendo cada vez menos referida e hoje praticamente não se fala dela.

1.4. O PRIMEIRO CAPACITOR: A GARRAFA DE LEYDEN

A garrafa de Leyden deve este nome à cidade onde foi construída, na Holanda, e foi projetada por Pieter van Musschenbroek (1692-1761) em 1745, sendo a precursora dos modernos capacitores. Em sua primeira versão eletrizava-se a água contida numa garrafa de vidro que segurava-se com uma mão. Quando tocava-se com a outra mão numa haste metálica mergulhada na água sofria-se um tremendo choque elétrico. A notícia desta experiência espalhou-se pelos meios científicos e tornou-se também uma curiosidade.

Em 1745 Georg Von Kleist e em 1746 Le Monnier descobriram que podia usar-se a garrafa de Leyden para armazenar eletricidade e usar esta nas experiências conforme se necessitasse. Tal fato representou uma verdadeira revolução no campo das experiências com eletricidade, pois até então não era conhecida nenhuma forma de armazenar eletricidade. É desta propriedade de armazenar ou condensar a eletricidade que derivou o nome de **condensador**, denominação antiga do **capacitor**.

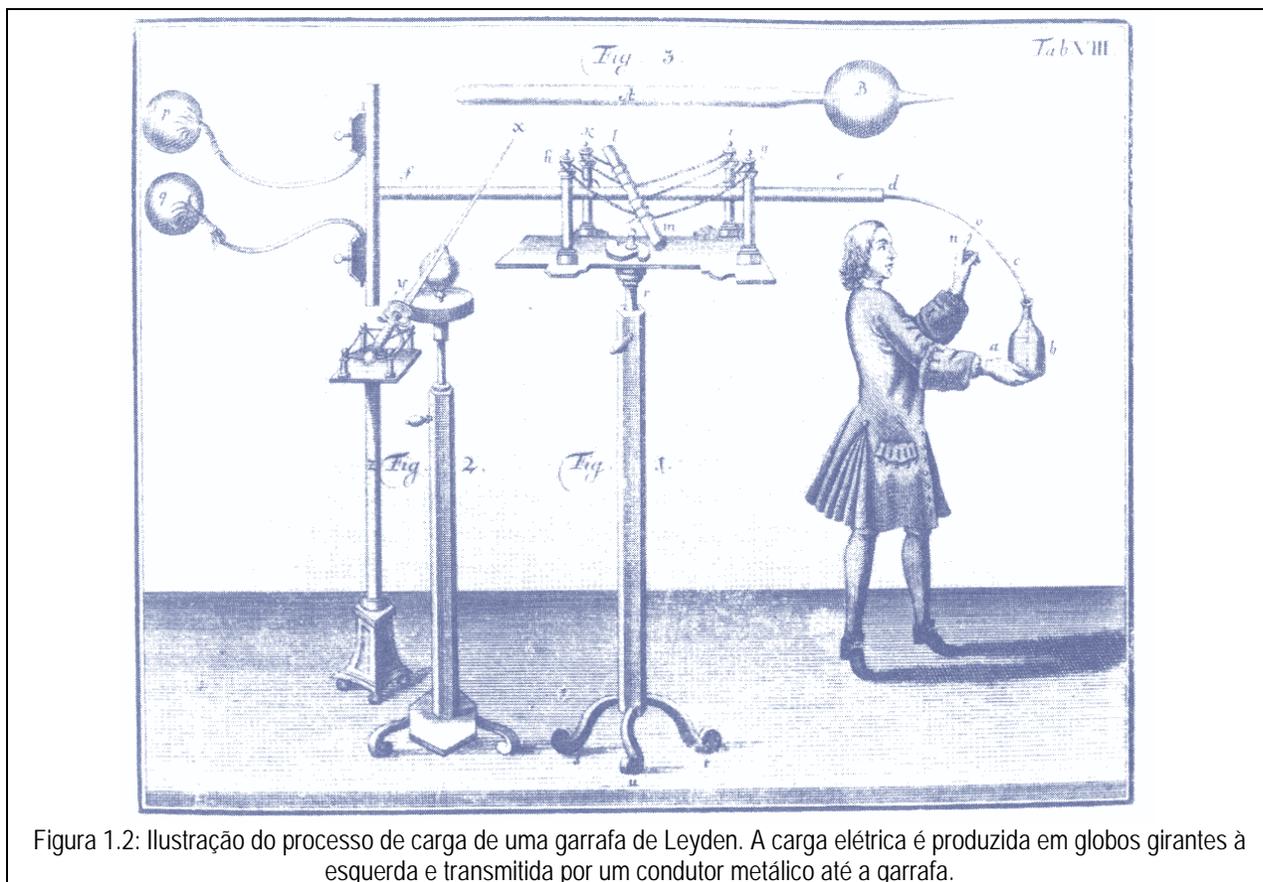


Figura 1.2: Ilustração do processo de carga de uma garrafa de Leyden. A carga elétrica é produzida em globos girantes à esquerda e transmitida por um condutor metálico até a garrafa.

O melhor conhecimento do funcionamento da garrafa conduziu a alterações na sua construção. Por fim, a garrafa ficou constituída por uma garrafa de vidro envolvida até 2/3 da altura por um invólucro de estanho. O seu interior é constituído por folhas finas de cobre. Um condutor metálico que atravessa uma rolha de isolamento faz contato com o cobre. Ou seja, a garrafa é um capacitor no qual o vidro é o dielétrico.

1.5. BENJAMIN FRANKLIN E O PÁRA-RAIOS

O norte-americano Benjamin Franklin é conhecido tanto como um personagem de grande importância da Revolução que culminou com a independência das antigas colônias inglesas e conseqüente criação dos Estados Unidos, assim como foi um experimentador dos fenômenos elétricos e imaginou explicações para eles. A partir de 1749 Benjamin Franklin apresentou seus trabalhos na Royal Society em Londres através de cartas onde descrevia as suas experiências elétricas e as suas interpretações. Numa delas referiu-se ao extraordinário "poder das pontas", observado nos objetos pontiagudos eletrizados, poder esse que permitia extrair ou projetar o "fogo elétrico", nome dado à "substância elétrica", de origem não conhecida, mas que se manifestava nos fenômenos chamados elétricos, de atração e de repulsão e que provocavam faíscas entre objetos eletrizados. Franklin criou uma teoria segundo a qual o "fogo elétrico" existia naturalmente nos corpos e as faíscas resultavam de diferenças de quantidade de "fogo elétrico" entre corpos que haviam sido eletrizados. As faíscas iam dos corpos com mais "fogo elétrico" para os que tinham menos "fogo elétrico", até se equilibrarem. Na seqüência destes estudos, Franklin lançou a hipótese, inovadora na época, de as nuvens estarem carregadas de eletricidade, sendo os raios das trovoadas um fenômeno elétrico. Experimentador como era, concebeu e realizou uma experiência com um dispositivo baseado nos papagaios ou pipas de papel, com um fio de seda ligado ao papagaio e com uma chave na outra extremidade e ligada à terra. A aproximação de uma trovoadas permitiu-lhe verificar que as nuvens estavam carregadas de eletricidade, quando pôde comprovar a descarga recebida e que lhe permitiu carregar uma garrafa de Leyden. Na verdade atualmente há dúvidas de que Franklin tenha realizado a experiência exatamente como descreveu em suas cartas, pois teria sido fulminado pela descarga advinda do raio. Apesar disso, as experiências de Franklin tiveram um êxito estrondoso e foram repetidas por toda a Europa. Em 1752, na França, foi montado um mastro metálico isolado da terra. Um fio de cobre foi ligado à terra e um dos experimentadores presentes (isolado do chão com uma plataforma de vidro) aproximou o fio de cobre do mastro durante uma trovoadas, observando faíscas a saltar entre o mastro e o fio de cobre, o que comprovou a teoria de Franklin. No entanto numa tentativa de repetir a experiência o cientista alemão Richmann acabou morrendo, por não se isolar convenientemente e ter sido atingido por um raio.



Figura 1.3: Benjamin Franklin e uma parte do pára-raios que ele instalou em sua casa na Philadelphia em 1752. Quando as pequenas esferas se afastavam era um sinal de que existiam nuvens carregadas sobre a casa.

Como resultado de suas experiências, Franklin sugeriu a instalação de hastes metálicas pontiagudas em edifícios elevados, conectadas à terra por um condutor de cobre de elevado diâmetro, dando origem aos pára-raios modernos. Franklin também observou que o “fogo elétrico” tinha duas “espécies” distintas, segundo fossem provocados pelo atrito do vidro ou de substâncias na forma de resinas como o âmbar e o enxofre. Tais formas de eletricidade eram chamadas de “eletricidade vítrea” e “eletricidade resinosa”, e deve-se a Franklin a alternativa de chama-las de “negativa” (resinosa) e “positiva” (vítrea).

1.6. AS PRIMEIRAS FONTES DE CORRENTE ELÉTRICA

No final do século XVIII, o fisiologista italiano Luigi Galvani fez diversas experiências em rãs dissecadas e entre elas verificou que as coxas das rãs se contraíam quando em contato com um arco constituído por dois metais diferentes. Na época, os conhecimentos sobre eletricidade restringiam-se à eletrostática, de modo que Galvani pensou que a causa do fenômeno residia numa forma de "eletricidade animal", característica dos seres vivos.

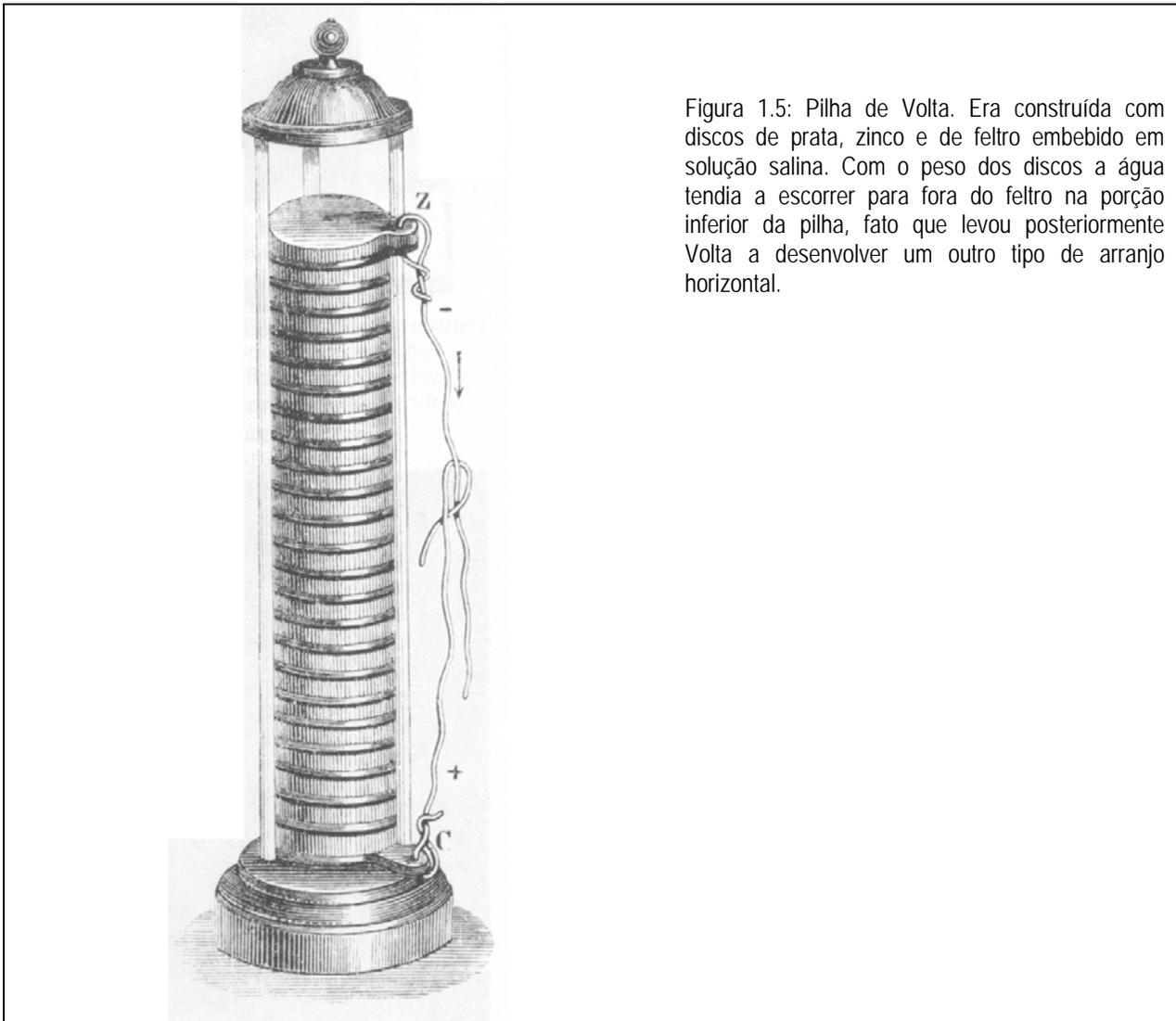


Figura 1.5: Pilha de Volta. Era construída com discos de prata, zinco e de feltro embebido em solução salina. Com o peso dos discos a água tendia a escorrer para fora do feltro na porção inferior da pilha, fato que levou posteriormente Volta a desenvolver um outro tipo de arranjo horizontal.

Em oposição à idéia da “eletricidade animal”, em 1799 o físico italiano Alessandro Volta (1745-1827), professor de física na Universidade de Padua (Itália), conseguiu obter faíscas elétricas e choques a partir de uma pilha de discos de diferentes metais, do tamanho de uma moeda. Com isso Volta demonstrou que o fenômeno observado por Galvani nada tinha a ver com as rãs mas com o fato de se usar dois metais diferentes numa solução salina. Volta, depois de testar vários materiais, construiu um aparelho que repetia, sistemática e alternadamente, discos de prata, zinco e papel ou tecido de feltro umedecido com água e sal. Cerca de 30 desses conjuntos de três discos eram

mantidos empilhados, apoiados em um suporte de hastes verticais de madeira. Quando se aproximavam as extremidades de dois fios de cobre, um previamente ligado à base e outro ao topo da pilha, observava-se uma faísca elétrica. Volta escreveu um trabalho científico, na forma de uma carta datada de 20 de março de 1800, relatando estes resultados originais e o encaminhou à Royal Society de Londres, que o publicou. Na época, existia um grande interesse em torno da eletricidade e suas possíveis aplicações práticas. Assim, em novembro de 1801, Volta foi convidado por Napoleão Bonaparte, então Cônsul da França, para demonstrar-lhe os efeitos elétricos da pilha, no Instituto Nacional da França. Napoleão, apesar de seu perfil de guerreiro, dominador de nações e valorizador de ações bélicas, nunca menosprezou a ciência. De fato, o bom resultado militar dos exércitos napoleônicos foi em grande parte garantido pela alta qualidade da pólvora, que foi aperfeiçoada a partir de critérios sobre reações químicas durante o período em que A. L. Lavoisier (1743-1794) dirigiu o arsenal francês. Na verdade Volta foi convidado a apresentar para Napoleão uma espécie de “granada elétrica” que havia inventado, constituída por um globo de vidro cheio de gás metano obtido da putrefação de resíduos orgânicos. Dois eletrodos no interior do globo eram ligados a uma das pilhas de Volta, causando uma descarga elétrica que fazia o metano incendiar-se e conseqüentemente explodindo o globo. No entanto o dispositivo não chegou a ser usado em aplicações bélicas devido à dificuldades em sua manipulação. O nome de Volta é homenageado na unidade da tensão elétrica, o **volt** (V).

A importância da pilha de Volta foi a produção de corrente elétrica de forma estável e não apenas na forma de descargas e faíscas que se tinha até então. Tal fato permitiu que o cientista francês André-Marie Ampère (1775-1836) realizasse por volta de 1820 uma série de experiências sobre a corrente elétrica, inclusive medindo a sua intensidade e a força de atração entre condutores paralelos percorridos por corrente elétrica. De mesma forma, um trabalho publicado em 1841 por James Prescott Joule (1818-1898) estabeleceu a relação entre a corrente elétrica e o aquecimento dos condutores, que conhecemos atualmente como Lei de Joule. As diversas teorias sobre eletricidade e magnetismo foram sistematizadas e organizadas pelo cientista escocês James Clerk Maxwell (1831-1979), através de seu livro *Treatise on Electricity and Magnetism* publicado em 1873.

A Tabela I resume alguns dos principais eventos e descobertas da Eletricidade.

Tabela I: Principais eventos na história da Eletricidade

1600	William Gilbert publica <i>De Magnete</i> , usando pela primeira vez a palavra ELETRICIDADE
1672	Otto von Guericke publica <i>Experimenta Nova</i> , descrevendo o seu gerador eletrostático
1675	Robert Boyle publica <i>Production of Electricity</i>
1746	Demonstrações da garrafa de Leyden na Holanda
1750	Benjamin Franklin inventa o pára-raios na colônia britânica da Philadelphia na América do Norte
1767	Joseph Priestley publica <i>The present state of electricity</i>
1786	Luigi Galvani observa o movimento de pernas de rãs mortas ao serem tocadas com objetos metálicos
1800	Alessandro Volta inventa a pilha elétrica
1801	Henry Moyes demonstra que é possível produzir luz através do arco elétrico produzido entre dois bastões de grafite (arco voltaico)
1820	Hans Öersted observa deflexão da agulha de uma bússola ao se aproximar um condutor percorrido por corrente elétrica
1821	Michael Faraday produz rotação de condutores e ímãs por corrente elétrica, lançando os fundamentos dos motores elétricos
1825	André-Marie Ampère estuda a corrente elétrica e a atração entre condutores percorridos por corrente elétrica
1827	Georg Ohm demonstrou que a corrente em um fio aumenta em proporção direta com a tensão (V) e com área (A) da seção transversal do fio, e em proporção inversa ao comprimento (L) do fio

1828	Joseph Henry produz fios isolados com seda e constrói eletroímãs poderosos
1831	Michael Faraday descobre o eletromagnetismo e realiza experiências com um anel metálico e ímãs. Faz também experiências com ímãs e discos girantes
1836	Samuel Morse constrói o primeiro relé
1836	Um sistema de iluminação por arco voltaico é inaugurado na Ópera de Paris
1837	Charles Wheatstone na Inglaterra e Samuel Morse nos EUA desenvolvem de forma independente o telégrafo. O sistema de Morse utiliza um código de pulsos longos e curtos, permitindo a transmissão com um só fio, enquanto que o sistema de Wheatstone previa um fio separado para cada letra do alfabeto
1841	James Joule estabelece a relação entre a corrente elétrica e o aquecimento dos condutores metálicos
1843	Samuel Morse constrói o primeiro telégrafo ligando a cidade norte americana de Baltimore e a capital Washington
1850	Um cabo telegráfico é inaugurado ligando a Inglaterra à França
1858	Inaugurado um cabo telegráfico entre os EUA e a Europa
1863	James Clark Maxwell publica <i>Treatise on Electricity and Magnetism</i> estabelecendo as bases do eletromagnetismo
1875	Alexandre Graham Bell inventa o telefone
1876	Thomas Alva Edison funda em Nova York a <i>Edison Electric Light Company</i> , com investimento dos banqueiros J.P.Morgan e W.Vanderbilt para construir a lâmpada incandescente
1879	Thomas Alva Edison inventa a lâmpada incandescente
1880	German Heinrich Hertz demonstra a existência das ondas eletromagnéticas preconizadas teoricamente por Maxwell, verificando que refletem-se de forma semelhante à luz
1882	Primeiro curso de Engenharia Elétrica é fundado no Massachusetts Institute of Technology em Cambridge, EUA
1882	Thomas Alva Edison inaugura o primeiro sistema de iluminação elétrica na cidade de Nova York
1891	Werner von Siemens demonstra um sistema elétrico em corrente alternada (25 Hz) na Exposição Industrial de Frankfurt
1893	A empresa Westinghouse demonstra um sistema elétrico em corrente alternada (60 Hz) na Exposição de Chicago, construído por Nicola Tesla. Nos recintos da exposição, 8000 lâmpadas a arco voltaico e 130.000 lâmpadas incandescentes são utilizadas
1895	Inaugurada a Central Hidrelétrica do Niágara nos EUA, gerando energia em corrente alternada para a cidade de Buffalo
1896	Inaugurada uma linha de trens elétricos em Nova York, utilizando energia gerada na Central do Niágara
1897	Joseph John Thomson descobre o elétron
1897	Karl August Rudolf Steinmetz (ou Charles Proteus Steinmetz) propõe um método de descrição dos circuitos de corrente alternada utilizando números complexos no livro <i>Theory and Calculation of AC Phenomena</i>
1899	Guiglielmo Marconi demonstra a viabilidade do “telégrafo sem fio” utilizando ondas de rádio
1901	Guiglielmo Marconi consegue transmitir sinais telegráficos de rádio entre a Inglaterra e os EUA, usando um transmissor por arco elétrico
1904	John Ambrose Fleming inventa a válvula diodo
1906	Robert Millikan e Harvey Fletcher medem experimentalmente a carga do elétron

1906	Lee De Forest inventa o <i>audion</i> ou válvula triodo
1910	Nicola Tesla propõe a adoção do sistema elétrico em corrente alternada de 60 Hz em todo o território norte-americano, em oposição às propostas de 133 Hz
1915	Primeira ligação telefônica entre Nova York e São Francisco
1927	Primeiras demonstrações da televisão, na Inglaterra
1930	Na Olimpíada de Berlim, espectadores fora dos estádios assistem as imagens das disputas esportivas em aparelhos de televisão rudimentares
1930	A empresa Galvin Manufacturing Corporation lança no mercado norte americano o <i>Motorola</i> , o primeiro receptor de rádio para automóveis
1948	John Bardeen e Walter Bratain constróem o primeiro transistor nos Laboratórios Bell
1954	A empresa norte americana Regency lança o primeiro rádio transistorizado, vendido por US\$ 50 e contendo 4 transistores de germânio produzidos pela Texas Instruments
1955	A empresa japonesa Tokyo Tsushin Kogyo Kabushiki Kaisha lança no mercado norte americano um pequeno receptor de rádio chamado <i>Sony</i> , por US\$ 29.95
1956	Lançado o <i>Stutnik</i> , o primeiro satélite artificial terrestre, pela União Soviética
1958	Primeira transmissão de voz com o auxílio de um satélite
1958	Invenção do <i>laser</i> no Bell Laboratory nos EUA
1958	Trabalhando na empresa Texas Instruments, Jack Kilby propõe a construção do circuito integrado
1960	Jack Kilby, na empresa Fairchild Semiconductor, fabrica o primeiro circuito integrado, contendo 4 transistores
1980	Primeira transmissão comercial de sinais a longa distância por fibra óptica

Bibliografia

- [1] DORF, Richard C. *Introduction to electric circuits*. John Wiley, New York, 1989. 592p.
- [2] THE SOFTWARE TOLLWORKS MULTIMEDIA ENCYCLOPEDIA. New York, 1992. Grolier. CD-ROM.