

Arco Elétrico

Através da eletricidade estática podemos fazer pequenas faíscas elétricas eletrizando alguns corpos por fricção ou por indução eletrostática. A descarga das nuvens produz faíscas elétricas de grande dimensão que iluminam o ambiente, mas não é possível controlar essa energia. [Benjamim Franklin](#) (1716-1790) bem tentou armazenar as cargas elétricas de nuvens eletrizadas, mas não teve sucesso com os processos que desenvolveu.

Depois da invenção da pilha de Volta, em 1800, os cientistas dispuseram, pela primeira vez, de uma forma de energia razoavelmente grande obtida através da associação das chamadas células voltaicas¹. A associação de células em paralelo originava uma bateria capaz de debitar uma corrente elétrica muito elevada e a associação em série de células empilhadas originava uma pilha voltaica de elevada tensão elétrica.

[Humphry Davy](#) (1778-1829), mentor de [Michael Faraday](#) (1791-1807), em 1800, foi dos primeiros cientistas a produzir faíscas elétricas curto-circuitando os terminais de pilhas de Volta. Em 1801, ele descreveu o fenômeno num artigo publicado no *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*.

Em 1802, Humphry Davy tinha, na [Royal Institution](#), o que era então uma das baterias elétrica mais poderosa do mundo, com cerca de 1000 células voltaicas, mas a mais poderosa era a do cientista russo [Vasily V. Petrov](#) (1751-1834) constituída por 4200 células voltaicas ligadas em série. No mesmo ano, Davy repetiu a experiência numa palestra proferida na *Royal Society*, transmitindo uma corrente elétrica através de duas hastes de carbono que se tocaram e, em seguida, afastou-as mantendo-as a uma pequena distância, mas a faísca manteve-se e corrente elétrica continuou a passar apesar dos elétrodos estarem separados². Petrov, em 1802, também propôs a faísca elétrica sustentada como forma de gerar calor e produzir novos metais e óxidos e também como forma de soldar metais.

Além da faísca elétrica Davy também tornou incandescente uma tira de platina, dois efeitos que estiveram na base da realização das primeiras lâmpadas elétricas.

Da faísca elétrica ao arco elétrico

Tanto Humphry Davy como Vasily Petrov verificaram que curto-circuitando momentaneamente os dois terminais de uma pilha de Volta com tensão elevada gerava-se uma faísca elétrica, que produzia luz, e se depois afastasse os elétrodos a faísca mantinha-se com a condução elétrica a ser feita através do ar³.

Em 1806, na Royal Society, Davy repetiu a experiência produzindo uma faísca muito grande entre dois elétrodos de carbono horizontais e verificou que a faísca se curvava para



Fig. 1- Pilha de Volta
Réplica no Museu Faraday.



Fig. 2- Faísca elétrica em forma de arco.

¹ - A célula eletroquímica devida a Volta.

² - [Vasily V. Petrov](#) (1751-1834) sem ter conhecimento da experiência de Davy também criou uma faísca sustentada.

³ - Mais tarde mostrou-se que o ar ionizado era um plasma e que permitia a condução de eletricidade apesar dos elétrodos estarem afastados.

cima tomando a forma de um arco que ligava os dois elétrodos⁴. Davy chamou a esta faísca um arco elétrico⁵. O arco elétrico dura muito tempo enquanto que a faísca é momentânea.

Quando os elétrodos estão muito afastados, além da corrente de ar, o efeito do campo magnético gerado pela corrente do arco gera forças sobre as partículas ionizadas e provoca um movimento errático no desenvolvimento do arco e um sopro de ar que produz som se o arco for alimentado com tensão contínua.

As propriedades do arco elétrico

Para realizar arcos elétricos que produzam muita intensidade de luz deve usar-se elementos que suportem elevadas temperaturas. Entre os metais é o tungstênio que tem a temperatura de fusão mais elevada (3422°C) e, por isso, é muito usado para fazer filamentos de lâmpadas elétricas.

As temperaturas de fusão dos elementos estão relacionadas com a constituição dos seus átomos e com a sua posição na Tabela Periódica dos Elementos. Os primeiros elementos da Tabela Periódica têm temperaturas de fusão muito baixas, que nalguns casos são inferiores a 100°C, mas há uma exceção notável: o Carbono que é o recordista, entre todos os elementos, pois tem a temperatura de fusão de 3550°C, a mais elevada de todos os elementos existentes⁶.

A característica U(I) do arco voltaico

O arco elétrico apresenta uma característica (U,I) que tem uma zona de resistência incremental negativa.

Uma vez iniciado o arco elétrico, o cociente $\Delta U/\Delta I$, com dimensões de resistência, tem valor negativo. A tensão U aos terminais do arco tende para zero quando a corrente I tende para valores muito elevados e se os elétrodos estiverem muito próximos a corrente tende para infinito o que pode ser catastrófico para o gerador de tensão que excita o arco elétrico⁷.

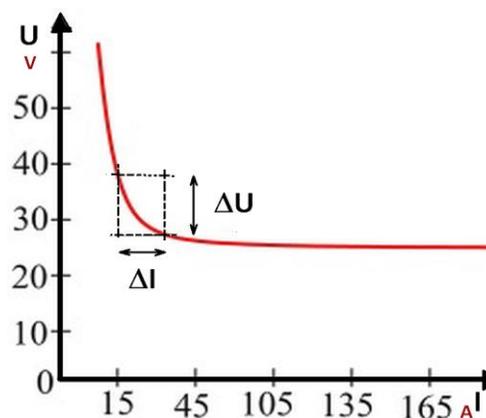


Fig. 3 - Característica U(I) de um arco elétrico.

A característica de resistência incremental negativa viria a ter uma enorme importância no desenvolvimento dos primeiros transmissores de ondas de rádio. Heinrich Hertz ([Bio 1](#) e [Bio 2](#)) começou por usar estes arcos elétricos associados a ressonadores eletromagnéticos (antenas) como fonte de energia para as suas experiências que comprovaram que a eletricidade se transmite como ondas eletromagnéticas quer seja em fios condutores quer na atmosfera.

Até 1919 o arco voltaico foi a principal fonte de radiofrequência que possibilitou o desenvolvimento das comunicações via rádio⁸.

⁴ - O ar aquecido pela faísca e as partículas de carbono, têm tendência a subir e a faísca a seguir este percurso em forma de arco.

⁵ - O arco era provocado pela subida do ar quente da faísca.

⁶ - Também tem a temperatura de ebulição 4287°C, também a mais alta.

⁷ - Quando um arco elétrico se estabelece, o processo é regenerativo. Isto acontece com componentes eletrónicos em que o arco carboniza os componentes e autoalimenta-se do carbono realizado.

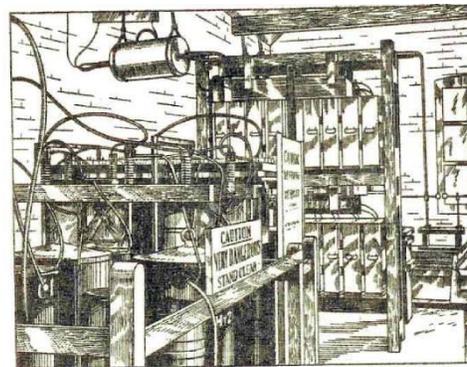
⁸ - A partir de 1919 o arco voltaico como gerador de RF foi proibido devido às enormes interferências eletromagnéticas que provocava nas comunicações por rádio.

As experiências de [Marconi](#) sobre a Telegrafia sem Fios foram feitas com arcos elétricos como sendo os elementos fundamentais que originavam a manutenção de oscilações eletromagnéticas em circuitos ressonantes⁹. Marconi usou um arco voltaico no emissor de Poldhu, Fig. 4, concebido pelo [Prof. Ambrose Fleming](#), e que viria a fazer a primeira comunicação de rádio transatlântica no dia 12 de dezembro de 1901.

Mantendo os eletrodos afastados pode ter-se uma ideia da queda de tensão ao longo do comprimento do arco, como se ilustra na Fig. 5.

Nesta figura pode ver-se que as principais quedas de tensão existem na vizinhança L_c do cátodo (U_c), e na vizinhança L_a junto ao ânodo (U_a). Entre estas duas vizinhanças o arco comporta-se como um plasma condutor, com uma resistência muito baixa e a correspondente pequena queda de potencial U_p .

A potência elétrica consumida manifesta-se principalmente junto ao cátodo e ao ânodo desenvolvendo muito calor que funde e vaporiza os eletrodos e o plasma encarrega-se de transportar os iões dos eletrodos de um lado para o outro, o que tem aplicação industrial na soldadura por arco voltaico.



This historic picture shows some of the apparatus at Marconi's Poldhu transmitter from which the first signal to span the Atlantic was radiated on December 12, 1901. On the left are transformers, in the centre are banks of condensers, and on the right the spark-gap can be seen.

Fig. 4- Emissor transatlântico de Marconi em Poldhu (GB,1901).

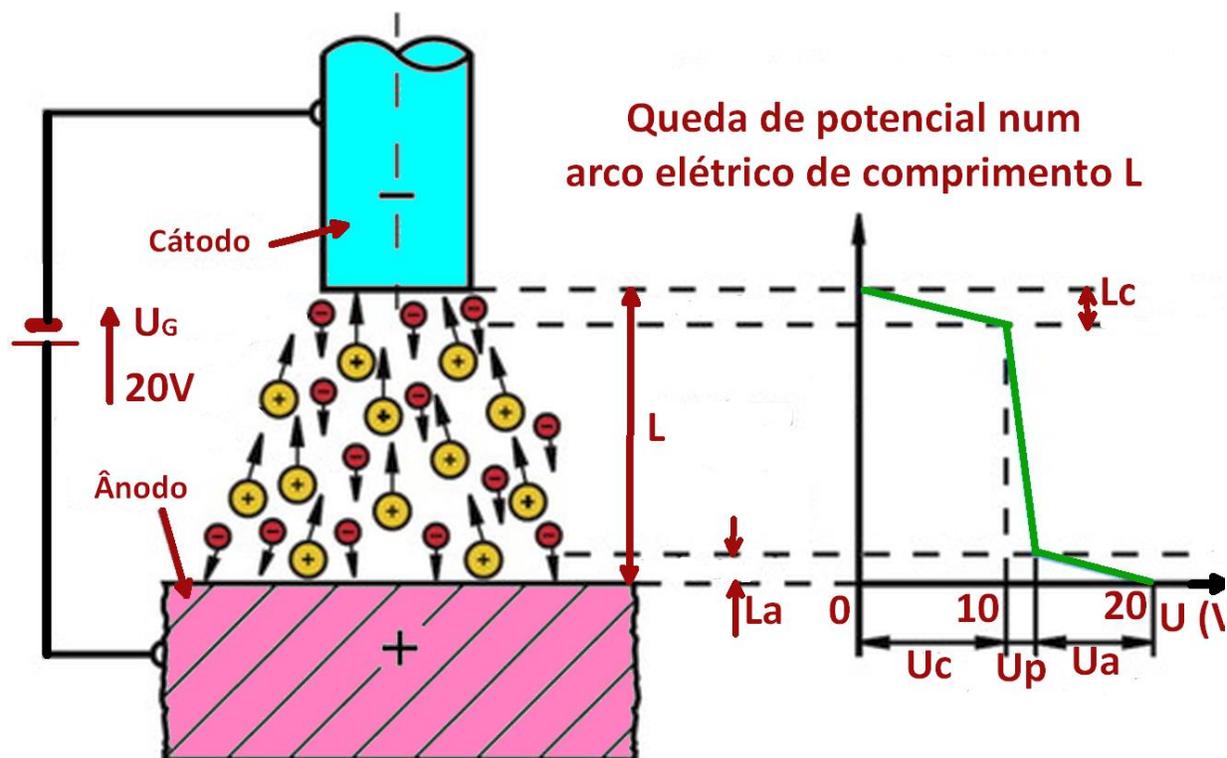


Fig. 5 - Queda de potencial ao longo de um arco elétrico alimentado com 20 V DC.

⁹ Devido à "resistência negativa".

Arco elétrico na soldadura de metais

Estima-se que no plasma do arco voltaico se atinjam temperaturas da ordem de 35 000 °C, o que provoca uma série de fenómenos dos quais se destacam: a produção de luz extremamente intensa e os vapores de metais aquecidos que provocam um sopro de gazes e ondas acústicas muito intensas, Fig.6.

A elevada temperatura do arco elétrico pode fundir qualquer material conhecido. Isto tem aplicação na soldadura de metais e nos fornos elétricos muito usados na indústria metalúrgica.

O plasma gerado pelo arco voltaico é também usado nas máquinas de corte por plasma capazes de cortarem grandes espessuras de metais com uma largura de corte muito pequena.

Na aplicação em soldadura de metais é usual limitar externamente a corrente ou a tensão do arco voltaico para que haja sempre uma potência elétrica dissipada que é ajustada de forma controlada à aplicação.

Para reduzir o sopro do arco e obter uma boa qualidade de solda, pode alimentar-se o arco com corrente alternada, AC. Com excitação AC o fluxo de corrente elétrica muda de direção ao ritmo da tensão e, portanto, o campo magnético também muda de direção e essa mudança na direção do campo magnético reduz o efeito do sopro do arco e estabiliza o arco elétrico.

Arco elétrico na vaporização de metais

O arco elétrico é muito usado para vaporizar metais devido a alta temperatura atingida. Um exemplo muito importante é o da zincagem pelo vapor de zinco produzido por um arco elétrico. Este processo de zincagem aplicado ao ferro é o método mais eficaz atualmente existente, pois consegue obter grandes espessuras de zinco sobre as peças de ferro. O processo é realizado por uma pistola elétrica, Fig. 7, que produz o arco voltaico e um fio de zinco é empurrado para o arco sendo vaporizado e projetado sobre a peça de ferro.

Arco elétrico na indústria metalúrgica

O forno aquecido por Arco Elétrico pode derreter facilmente muitos materiais. Pode ser usado para cortar materiais usando a técnica [de corte por plasma](#), mas também pode ser usado para fazer fornos elétricos.

Os primeiros fornos elétricos surgiram em 1905, pelas mãos de [Paul Heroult](#) (1863-1914), de origem francesa, Fig.8. Estes fornos podem processar metais com massas variáveis de cerca de uma tonelada até à capacidade de 400 toneladas (a do maior forno elétrico existente).

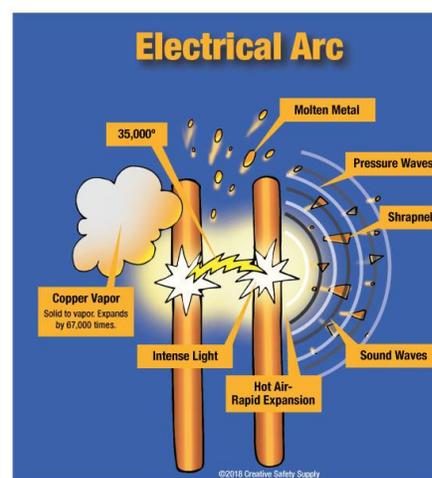


Fig. 6- Fenómenos provocados pelo arco voltaico.

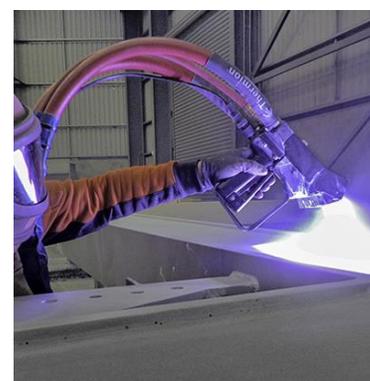


Fig. 7 – Zincagem por arco elétrico.

O forno a arco elétrico é muito utilizado na siderurgia. O forno consiste num vaso revestido de material refratário, geralmente arrefecido a água, que é coberto por um teto retrátil através do qual um ou mais eléctrodos de grafite entram no forno, Fig. 9.

O arco elétrico na iluminação elétrica

Uma das primeiras aplicações do arco elétrico foi na iluminação elétrica mas as dificuldades de controlar e estabilizar o arco levaram a que se usasse mais [a incandescência de materiais](#) produzida através do seu aquecimento elétrico. Também o ruído e os ventos caudados pelo arco não jogavam a favor do arco voltaico. As explicações destes fenómenos foram essencialmente feitas em 1895 pela cientista inglesa [Herta Ayrton](#) (1854-1923).

As lâmpadas de arco voltaico foram usadas na iluminação de ruas de várias cidades, sendo colocadas em postes a altura elevada. No início do cinema as lâmpadas de arco voltaico foram muito usadas devido a sua grande potência luminosa, mas este tipo de lâmpadas produz também muita luz ultravioleta que queimava a pele dos artistas e estes tinham de ter óculos protetores. Modernamente usam-se lâmpadas de arco com gaz Xénon em projetores de cinema e em faróis de automóveis, mas a tendência atual é para substituir estas lâmpadas por outras baseadas em LEDs ou LASERs de estado sólido.

Em 1849 [William Edwards Staite](#) e William Petrie (1821-1904) inventaram um método de controlo do afastamento dos eléctrodos do arco voltaico e que permitia estabilizar a intensidade luminosa produzida. O processo é usado no arco voltaico existente no Museu Faraday do IST, Fig. 10, e consiste num mecanismo de relojoaria que a partir de um motor de corda aproxima os eléctrodos de carbono e um solenoide, percorrido pela corrente do arco, que afasta os eléctrodos. O equilíbrio dá-se quando a força magnética produzida pelo solenoide é igual à força produzida pela mola do motor de corda. O eléctrodo mantém-se, assim, a uma distância que permanece constante mesmo quando estes se desgastam.

<https://museufaraday.ist.utl.pt/Experiences/Arco%20Voltaico%20no%20MF.mp4>

https://museufaraday.ist.utl.pt/Experiences/ArcoVoltaico_MuseuFaraday.mp4

A música produzida pelo arco elétrico.

Depois das explicações de Ayrton para o ruído acústico produzido pelo arco elétrico, em 1898, o cientista alemão [Hermann Theodor Simon](#) (1870-1918) observou que o arco elétrico também podia “cantar” ou seja, produzir sons, através da modulação da tensão de alimentação do arco elétrico. Simon mostrou, também, que o feixe de luz modulado podia transmitir mensagens óticas e aplicou isto num instrumento através do qual a Marinha Alemã conseguia fazer chamadas telefónicas entre navios utilizando um holofote de luz do arco modulado que era recebido numa fotocélula de selénio.

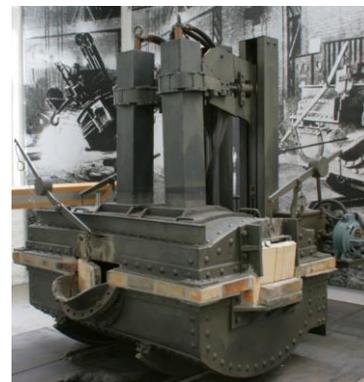


Fig. 8 - Forno de Heroult (1905).

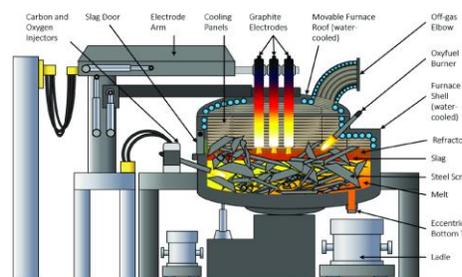


Fig.9- Corte de um forno elétrico moderno



Fig. 10- Lâmpada de arco (Museu Faraday)

Provavelmente sem ter conhecimento destas experiências, o cientista inglês, [William Duddell](#)¹⁰ (1872-1917) foi nomeado para resolver o problema do ruído acústico dos arcos voltaicos na iluminação de Londres. Duddell descobriu que variando a tensão de alimentação dos arcos voltaicos podia criar frequências audíveis controláveis a partir de um circuito ressonante excitado pelo ritmo de variação da tensão dos arcos voltaicos. Duddell chamou a estes arcos, que cantavam, "[singing arc](#)", que é um dos primeiros instrumentos de música elétrica. Duddell fez várias demonstrações públicas deste efeito, assumindo particular relevância pela sua espetacularidade a demonstração feita em 1901, em Nova Iorque, EUA, quando colocou os arcos de iluminação pública a [cantar "Columbia"](#).

Em 1906, [Lee de Forest](#) (1873-1961) desenvolveu o primeiro radiotelefone do mundo usando a nova válvula, o Audion, que tinha inventado, e o "singing arc". Forest namorava pelo radiotelefone com Lucille Sheardown, que viria a ser a sua primeira esposa. Namoraram, durante semanas, por radiotelefone, um aparelho colocado em casa de Lucille e outro no seu laboratório. Casaram em fevereiro de 1906, mas o casamento acabou no mês seguinte. O primeiro namoro "wireless" foi Sol de pouca dura.

Lee de Forest também [fez detetores de rádio usando uma chama](#) que ionizava o ar e permitia fazer a deteção de ondas de rádio, fenómeno também usado nos chamados altifalantes de chama.

O princípio do "singing arc" originou o [altifalante de plasma](#) em que o som é produzido por moléculas de ar que vibram sem necessidade de existir um diafragma propulsor. Com o efeito de corona produzido por altas tensões, o arco suave que se estabelece não é tão ruidoso como o do arco elétrico e este efeito é usado nos [altifalantes iónicos](#) que são capazes de produzir sons de frequências muito elevadas com elevada qualidade.



Fig. 11- [O primeiro radiotelefone](#)

O zeuzafone

A capacidade da bobina de Tesla de gerar facilmente altas tensões, tem sido usada para criar arcos elétricos com amplitude controlada por sons de áudio. Estes dispositivos são designados por "[singing Tesla coil](#)" e deram origem ao nome zeuzafone em homenagem ao [sousafone](#), um instrumento de sopro, criado pelo americano [John Philip Sousa](#).

Pode experimentar [uma singing coil Tesla](#) no Museu Faraday do IST.

¹⁰ - Duddell foi também o criador do [oscilógrafo ótico](#). Foi, também, o inventor do amperímetro de radiofrequência baseado na conversão em calor que alterava a força eletromotriz desenvolvida num termopar medida num voltímetro de corrente contínua. Durante muitos anos este método foi o mais eficaz para medir correntes de frequências muito elevadas.