

Manuel Vaz Guedes

FEUP — Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Galileo Ferraris

A biografia, como género histórico, tem sido desprezada por todos os que subalternizam a acção do indivíduo face aos problemas e às interacções da sociedade. Mas, no âmbito de uma *História da Electrotecnia*, há que conhecer o contributo pessoal, decisivo para a afirmação e evolução desta técnica, dado por indivíduos, embora considerando sempre os aspectos sociais circundantes que tiveram influência naquela actuação.

As personalidades que contribuíram para o aparecimento da Electricidade, como parte integrante da Física, têm a sua biografia tratada em diversas e interessantes publicações. Mas pouco está divulgado sobre os indivíduos que durante a segunda metade do século dezanove, como cientistas, engenheiros, professores ou empresários, desenvolveram a Electrotecnia, [1].

A Electrotecnia — como uma técnica capaz de promover o bem estar da humanidade através das aplicações da Electricidade — permitiu que um indivíduo desempenhasse diversas funções no domínio da ciência, ou da técnica, ou do ensino técnico superior ou da gestão, com uma simbiose de funções em que, ao longo da vida, se sucederam os momentos de relevância de uma vivência em relação às outras; mas sempre com contributos importantes para a evolução da Técnica.

No início dessa época primordial para a Electrotecnia, existiam já alguns aparelhos e máquinas eléctricas, estava fundamentado na experiência o conhecimento da Electricidade, e esse conhecimento começava a ser

sistematizado, através da Matemática, numa Teoria da Electricidade e do Magnetismo. Começava, também, o desenvolvimento de metodologias de cálculo, de projecto e de ensaio das diversas máquinas, instalações ou sistemas que iriam permitir a aplicação útil da

Electricidade. Como resultado iniciava-se a alteração da vida quotidiana da sociedade que desfrutava dos benefícios dessas aplicações...

Entre os muitos que no fim do século dezanove, através da seu trabalho, ajudaram a fundar a Electrotecnia está o engenheiro, investigador e professor italiano Galileo Ferraris, [2].

O Indivíduo

Nasceu Galileo Ferraris em Livorno Vercellese (Piemonte) no dia 30 de Outubro de 1847 e faleceu em Turim em 7 de

Fevereiro de 1897. Frequentou durante três anos a Universidade (Matemática e Física) e depois durante dois anos a Escola de Aplicação para Engenheiros de Turim, obtendo o diploma de engenheiro civil em 29 de Setembro de 1869.

Era uma época em que a cidade de Turim, tendo deixado de ser a capital do país, procurava na tecnologia e na produção industrial a importância perdida.

Logo na dissertação de fim de curso — “Da Transmissão Teledinâmica de Hirn” [3] — Galileo Ferraris mostra o seu interesse pela solução de problemas fundamentais para o desenvolvimento industrial, como seja o problema da transmissão de energia à



Galileo Ferraris (1847–1897)

distância; neste seu trabalho a solução apresentada consiste na transmissão da energia mecânica através de cabos metálicos. Interessante neste primeiro trabalho de síntese é a detecção das preocupações sociais do autor, aqui traduzidas na defesa da possibilidade de manutenção da sociedade familiar rural através do transporte da energia mecânica até cada lar-oficina em lugar da concentração dos operários em grandes unidades fabris, que os isolavam da célula familiar ao longo do dia de trabalho.

Depois de concluído o curso de engenharia, e na altura em que meditava sobre a actividade profissional a exercer, foi convidado para assistente da cadeira de Física Técnica no Real Museu Industrial de Turim — instituição de ensino que muito iria prestigiar com a sua acção durante toda a sua carreira académica. Esse contributo pessoal permitiu que mais tarde aquela Escola desse origem ao Politécnico de Turim. No Museu Industrial iniciou o estudo da Electrotecnia em 1882 e viria a criar em 1888 uma Escola com Laboratório de Electrotecnia, de que foi nomeado director, e onde continuou o ensino da nova disciplina.

Na sequência do seu trabalho de investigador elaborou em 1871 uma Nota “Sobre o Emprego da Bússola Ordinária na Medida da Intensidade Galvânica” e em 1872 publicou uma dissertação, para um concurso de doutor agregado à Faculdade de Ciências Físicas, Matemáticas e Naturais da Universidade de Turim, intitulada “Sobre a Teoria Matemática da Propagação da Electricidade nos Sólidos Homogêneos”; nesta dissertação deu continuidade ao trabalho de Kirchhoff [4] e demonstrou um conhecimento profundo dos trabalhos de Weber, Gauss, Thomson e Helmholtz.

Seguiu-se um tempo em que retomou os trabalhos de Gauss sobre a Óptica Geométrica e sobre os Instrumentos Dióptricos e numa publicação realizada em 1876 [5] procurou vulgarizar esses conhecimentos, através da utilização de construções geométricas na exposição e justificação da teoria geral.

Em 1877 Galileo Ferraris torna-se professor da cadeira de Física Técnica no Museu Industrial de Turim e do ensino da Física na Escola de Guerra; volta a interessar-se por assuntos de Electrotecnia publicando

uma Nota sobre máquinas eléctricas [6] e iniciando o estudo dos problemas do telefone, que então tinha sido inventado e começava a ser utilizado [7] [8].

Nesta época começa-se a divulgar a iluminação eléctrica, e, por isso, Galileo Ferraris profere no Museu Industrial em Abril e Maio de 1879 cinco conferências públicas onde, com habilidade e saber, divulgou as vantagens desta nova aplicação da Electricidade, apresentando ao longo das conferências todos os diversos elementos constituintes dos sistemas de iluminação eléctrica da época [9].

Nesse ano de 1879 publicou um trabalho com um teorema sobre a distribuição da corrente eléctrica constante; trata-se de um trabalho de Electrotecnia Teórica baseado na aplicação do “princípio da equivalência do calor e do trabalho”.

Em 1880 foi nomeado membro da Academia de Ciências de Turim, o que demonstra a alta consideração em que eram tidos os seus trabalhos.

A actividade científica de Galileo Ferraris, num meio técnico-científico italiano em plena reafirmação, fez com que fosse nomeado delegado do Governo no Congresso Internacional de Electricidade de Paris (1881). No âmbito da Exposição Internacional de Electricidade de Paris (1881) desempenhou as funções de membro do júri.

Da exposição de Paris elaborou um relatório, completo rigoroso e simples, focando os diversos problemas de transmissão e distribuição de energia eléctrica, assim como a utilização de acumuladores e de lâmpadas; globalmente descreveu a aplicação industrial da corrente eléctrica tal como fora apresentada naquela exposição.

Em representação da Itália foi delegado na Conferência Internacional de Electricidade de Paris de 1882 e foi comissário na Exposição Internacional de Viena de 1883.

Foi durante a Exposição Internacional de Electricidade de Turim em 1884, de que foi comissário e onde foi presidente do júri internacional, que examinou essa nova invenção — o transformador (“gerador secundário”). Então iniciou o seu trabalho de investigação teórico-experimental sobre os problemas da aplicação dessa máquina eléctrica estática. Tendo-se apercebido da

importância extraordinária que a corrente alternada iria ter, devido à utilização do transformador, realizou no seu laboratório um conjunto de experiências que fundamentaram a publicação de algumas comunicações notáveis.

É durante as experiências realizadas em 1885 que desenvolve o conceito de campo magnético girante, ilustrando-o com um pequeno aparelho electromecânico que projectou e mandou construir. Ainda desenhou outros aparelhos, mas só em 1888 é que publicou uma memória com a fundamentação teórica desses trabalhos [10]. Em 1889 na exposição Universal de Paris, onde fora enviado para estudar o progresso da indústria eléctrica, pode já ver o início do desenvolvimento do motor eléctrico de campo girante (de N. Tesla e de R. Kennedy), como deixou escrito no relatório detalhado que sobre esta exposição elaborou.

Em 1891 na Exposição Internacional de Frankfort, ficou consagrada a aplicação industrial do princípio do campo girante no motor de indução trifásico de Dolivo-Dobrowolski, e Galileo Ferraris pode receber o reconhecimento dos cientistas e empresários europeus presentes nesta exposição e no congresso que simultaneamente decorreu.

A importância da corrente alternada, que estava demonstrada nas mais impressionantes novidades da Exposição de 1891, levou Galileo Ferraris a publicar várias notas (1893) e uma comunicação que assinalou a sua entrada na Academia Nacional dos Linceus (1894) [11].

Entretanto, participou em 1893 no Congresso Internacional de Aplicação da Electricidade, em Chicago, de que foi nomeado vice-presidente e onde recebeu dos seus pares provas de grande estima e consideração pela sua obra.

Foi já publicado depois da sua morte em 1897 um trabalho sobre a “Teoria Geométrica dos Campos Vectoriais como Introdução ao Estudo da Electricidade, do Magnetismo, etc.” Mas ainda publicou em 1896, em co-autoria com o Eng. Riccardo Arno, um opúsculo sobre “Um Novo Sistema de Distribuição Eléctrica de Energia Mediante Correntes Alternadas”, onde estudou a aplicação geral de um sistema polifásico de corrente alternada para distribuição de energia eléctrica, obtido de um sistema monofásico por acção de um transformador rotativo.

Decorrente da importância dos trabalhos técnicos que efectuou foi convidado para participar em várias actividades de consultoria: instalações públicas de Frankfort e de Lião. Durante a sua vida desempenhou também alguns cargos públicos: conselheiro comunal de Turim (1887); conselheiro em Livorno Piemonte (1895), e senador do reino em 1896.

A Obra

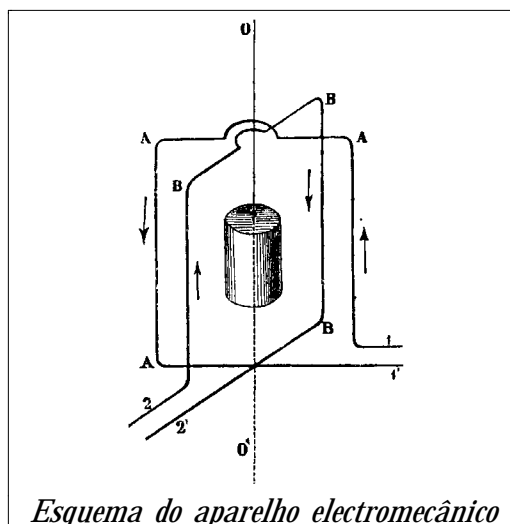
Foi vasta e diversificada a obra de Galileo Ferraris, mas aqui realçam-se apenas dois temas fundamentais: o campo magnético girante e o estudo do transformador.

O Campo Magnético Girante

Quando em 1885 iniciou o estudo dos problemas do transformador Galileo Ferraris preocupou-se com o problema da diferença de fase entre a intensidade de corrente eléctrica primária e da corrente secundária. Surgiu-lhe, assim, um fenómeno que, por analogia, relacionou com outros fenómenos que conhecia dos seus estudos sobre Óptica [5].

Como nessa época a luz era considerada uma vibração do éter, e da combinação de duas vibrações em quadratura de fase resultava uma vibração elíptica ou uma vibração circular (luz polarizada), Galileo Ferraris procurou encontrar a forma de combinar dois campos magnéticos em quadratura de fase para obter um campo magnético girante — campo magnético criado por uma estrutura estática (electroímãs), mas com os pólos a rodar no espaço em torno de um eixo, com um velocidade constante.

Conseguiu a realização do campo magnético girante — elíptico ou circular — com a composição de dois campos magnético alternados criados por bobinas fixas colocadas em quadratura no espaço, sendo cada uma percorrida por uma corrente eléctrica alternada sinusoidal com diferente ângulo de fase; quando o esfasamento entra as correntes correspondia a um quarto de período o campo magnético era um campo girante com amplitude constante e uma velocidade angular igual à pulsação das correntes.



Esquema do aparelho electromecânico

Só em 1888 comunicou estas experiências à Academia de Ciências de Turim, numa Nota [10] onde refere os aspectos teóricos, diversas formas laboratoriais de obter as duas correntes eléctricas alternadas esfasadas entre si, a descrição de dois aparelhos electromecânicos que mandou construir [12] e as considerações que as experiências efectuadas lhe sugeriram sobre a utilização da nova forma de converter energia eléctrica em energia mecânica.

Nos aparelhos electromecânicos construídos utilizou como rotor primeiro um cilindro em cobre e depois um cilindro maciço e um outro folheado em ferro.

Como os aparelhos electromecânicos criados demonstraram ter um pequeno rendimento Galileo Ferraris pensou que a sua utilização como motor não teria qualquer aplicação industrial — “Estes cálculos e os resultados experimentais referidos confirmam a conclusão, que era evidente à priori, que um aparelho fundado neste princípio não pode ter alguma importância industrial como motor;...” [10] — mas anunciou a sua utilização na medida da electricidade fornecida em corrente alternada, “desde que o movimento rotórico fosse frenado por uma resistência mecânica proporcional ao quadrado da velocidade, porque sendo o binário motor actuante sobre o rotor proporcional ao quadrado do valor médio da corrente, a velocidade de rotação é proporcional ao valor médio da intensidade da corrente, e o número de rotações efectuadas durante um intervalo de tempo é proporcional à quantidade de electricidade fornecida ao consumidor durante esse tempo”. Salientou ainda a importância do aspecto pedagógico destes aparelhos para

demonstrar a diferença de fase entre as correntes eléctrica primária e secundária de um transformador, ou para justificar as experiências clássicas de Arago, ou de Babbage e Herschel, sobre o “magnetismo de rotação”.

Nos anos seguintes Galileo Ferraris não se preocupou com o aperfeiçoamento como motor eléctrico do aparelho electromecânico de campo girante, e tendo assistido, como participante nas diversas exposições mundiais de electricidade (1889, 1891, 1893), à aplicação do campo magnético girante no desenvolvimento de motores eléctricos de corrente alternada — motor de Tesla, contador de Schallenberger, motor de Dolivo-Dobrowolski, motor de Brown — elaborou em 1893 uma memória [13] com a apresentação de um método (“simples e óbvio”) de composição de vectores girantes e alternados [14] que poderia ajudar na interpretação e na explicação elementar de muitos fenómenos ligados ao funcionamento dos motores de corrente alternada (síncronos e assíncronos).

Nas subsequentes querelas sobre a prioridade na invenção do motor de indução foi atribuído a Galileo Ferraris a primazia no enunciado do princípio do campo magnético girante [2].

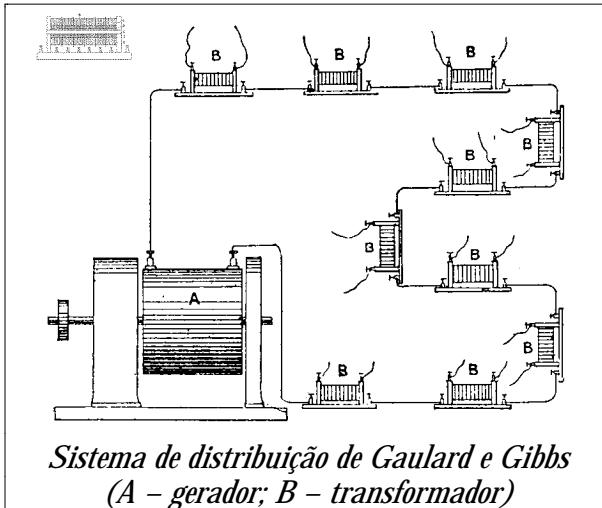
O Estudo do Transformador

Procurando resolver o problema da distribuição da energia eléctrica produzida em centros globais — transmissão económica à distância e alimentação de consumidores diversificados — surgiu a corrente alternada como uma forte concorrente aos sistemas eléctricos de corrente contínua que já tinham uma razoável divulgação.

O electrotécnico francês Lucien Gaulard e o promotor inglês John D. Gibbs reunindo um conjunto de ideias já anteriormente aplicadas (por M. Déprez e por P. Jablochhoff, entre outros) patentearam em 1882 um sistema de distribuição de electricidade. O sistema baseava-se na aplicação da corrente alternada gerada por uma máquina eléctrica (A) e distribuída por diversos transformadores ou “geradores secundários” (B), ligados em série, e que alimentavam circuitos de iluminação ou de força motriz [15].

Os transformadores eram formados por várias bobinas de fio de cobre isolado enroladas sobre um núcleo rectilíneo (aberto) de arames de ferro; existia apenas um

enrolamento primário mas existiam vários (6) enrolamentos secundários iguais que podiam ser agrupados em série ou em paralelo. A novidade está na aplicação do transformador, que tem o mesmo princípio de funcionamento do aparelho com que Faraday, numa experiência fundamental, estabeleceu em 1831 a Lei da Indução.



No ano de 1883 o sistema de Gaulard e Gibbs foi aplicado em Inglaterra em diversas instalações públicas e foi ensaiado por J. Hopkinson. No entanto o sistema e a parte publicada do relatório de Hopkinson foram recebidos com muita reserva, tendo sofrido alguns ataques (grosseiros) em diversos artigos nas revistas técnicas da época. Essa atitude agressiva apenas traduzia a preferência dos críticos na aplicação da corrente contínua em alta tensão ao transporte da energia eléctrica, como vinha sendo desenvolvida por Marcel Déprez.

A criação de um prémio pelo Governo Italiano para o melhor sistema transmissão e de distribuição de energia eléctrica, a atribuir durante a Exposição de Turim de 1884, criou a oportunidade de Gaulard e Gibbs apresentarem o seu transformador e este ser submetido à análise de um júri internacional.

Perante certas críticas e o resultado da experiência, os autores modificaram um aspecto construtivo do transformador: o núcleo magnético, formado ainda por um molhe de arames de ferro, era móvel, e podia-se variar a porção de ferro que era envolvida pelas bobinas do transformador, (podia-se variar manualmente a relutância do circuito magnético com a corrente secundária do

transformador).

O júri do concurso atribui-lhes o desejado prémio, mas continuou a controvérsia pública provocada pelo valor atribuído pelos autores ao rendimento do transformador (90%). Essencialmente o problema residia no método de medida da potência eléctrica em corrente alternada adoptado e no desconhecimento da importância das perdas magnéticas no ferro do núcleo magnético.

Para esclarecer toda esta controvérsia Galileo Ferraris faz vários estudos de carácter teórico-experimental, tendo acabado por realizar duas comunicações à Real Academia de Ciências de Turim e um relatório, [16].

Na comunicação sobre o transformador de Gaulard e Gibbs além de estabelecer uma primeira teoria de funcionamento do transformador, descreve, com pormenor e precisão, as experiências laboratoriais realizadas para determinar o rendimento do transformador por um método calorimétrico. Graças a este trabalho, que imediatamente foi divulgado pela imprensa técnica internacional, o valor elevado do rendimento do transformador (97%) começou a ser aceite pela comunidade electrotécnica.

Nº 26 Prof. Ferraris

84 x 170

9 Lagen à 24 = 216
2.5%

6 Lagen à 18 = 108
3.5%

$\mu = 2, 4, \dots, V_1 = 2500$ 3000 Watts

14 Kg Cu (mit. Isolierung) → f = 60

$C = \frac{216 \cdot 100 \cdot 68}{250} = 5900$ 14 Kg Cu

20 Kg Fe

*Transformador de Zipernowsky-Déri-Blathy
(folha de cálculo)*

Como resultado da uma visita à Exposição de Turim e da análise do sistema de Gaulard e Gibbs os engenheiros húngaros Zipernowsky, Déri e Blathy da fábrica Ganz de Budapeste apresentaram em 1884 um sistema de distribuição de energia eléctrica a tensão constante, utilizando transformadores

toroidais monofásicos com núcleo magnético fechado formado pelo enrolamento de arame de ferro em torno das bobinas (tipo couraçado).

O vigésimo sexto transformador produzido pela fábrica de Ganz destinou-se a Galileo Ferraris, que determinou experimentalmente o seu rendimento e sobre ele elaborou um relatório. Como conclusão desse relatório apresentou o transformador de Zipernowsky--Déri--Blathy como verificando todos os requisitos construtivos necessários para se obter um bom transformador.

A segunda comunicação à Academia de Ciências de Turim apresenta os resultados dos estudos teóricos confrontados com valores experimentais que Galileo Ferraris fez durante o Outono de 1886 sobre a importância do ângulo de diferença de fase da intensidade das correntes eléctricas primária e secundária do transformador.

Estes trabalhos de Galileo Ferraris sobre o transformador deram um grande impulso à aplicação da corrente alternada na distribuição da energia eléctrica, porque forneceram conclusões favoráveis obtidas graças à racionalidade dos estudos e à precisão dos resultados da experimentação laboratorial.

Conclusão

Na notícia necrológica inserida na revista "L'Éclairage Électrique", Galileo Ferraris é descrito como um "homem de bem que deixou em todos vivos recordações de simpatia e de afecto" dotado de "delicadeza de alma e nobreza de coração...". Como engenheiro, "dotado de um espírito iminentemente científico soube fazer progredir a ciência e torná-la cativante" [17].

A sua obra foi decisiva para que a Electrotecnia fornecesse meios que permitissem acompanhar o aumento da procura de energia eléctrica, que se tornara capaz de aplicação a muitas e diversificadas tarefas: distribuição de energia em corrente alternada (divulgação do transformador) e transformação imediata dessa forma de energia em energia mecânica (motor de campo girante).

Desta simples resenha biográfica, para além da singela homenagem, há que realçar os contributos que Galileo Ferraris deu à evolução da Electrotecnia, que sendo fundamentais para a sua época, ainda hoje

podem constituir modelo do método para um trabalho intelectual útil neste domínio tecnológico. MVG

Notas e Referências

[1] faz-se a comparação entre os investigadores da Electricidade Científica (1820-1840) e os inovadores da Electricidade Industrial (1880-...)

[2] Associazione Elettrotecnica Italiana; "Opere de Galileo Ferraris", 3 volumes, U. Hoepli 1904

[3] G. Ferraris; "Delle Trasmissioni Teledinamiche di Hirn", Turim, 1869

[4] no trabalho de Kirchoff: "Sobre o Movimento da Electricidade nos Condutores", 1857

[5] G. Ferraris; "Le Proprietá Cardinali degli Strumenti Diottrici", Turim 1869

[6] G. Ferraris; "Le Nuove Macchine di Induzione", Ing. Civ e le Art. Industriali, II, (6), 1876

[7] o telefone magnético foi inventado por Graham Bell em 1876; em condições normais de funcionamento apresentava grandes perdas na transmissão e o som recebido era fraco

[8] G. Ferraris; "Di Una Dimostrazione del Principio di Helmholtz Sulla Tempera dei Suoni — ricavata da alcuni esperimenti fatti col telefono", "Sul Telefono de Graham Bell"; e "Sulla Intensita delle Correnti Elettriche e delle Estracorrenti nel Telefono", Turim 1878

[9] G. Ferraris; "Sulla Illuminazione Elettrica. Cinque Pubbliche Conferenze", Turim 1879

[10] G. Ferraris; "Rottazioni Elettrodinamiche Prodote per Mezo di Corrente Alternate", Nota apresentada à R. A. C. Turim, 18/Março/1888

[11] G. Ferraris; "Transmissione Elettrica dell'Energia", 1894

[12] representados no Museu do Instituto Electrotécnico Nacional Galileo Ferraris (Turim) como primeiro e segundo modelo do motor de campo girante (1885)

[13] G. Ferraris; "Un Metodo per la Trattazione dei Vettori Rotanti od Alternative — ed una applicazione di esso al motori elettrici a correnti alternate", Memória

apresentada à R. A. C. Turim ,
03/Dezembro/1893

[¹⁴] nesta memória é apresentado, mas não de forma explícita, o Teorema de Ferraris da composição de vectores alternados para obter um vector girante

[¹⁵] na patente francesa, nº 151458 de 7 de Outubro de 1882, o estudo da distribuição das correntes eléctricas nos circuitos da distribuição ainda é feito considerando apenas a resistência dos diferentes enrolamentos

[¹⁶] Galileo Ferraris: “Ricerche Teoriche e Sperimentali sul Generatore Secondario Gaulard e Gibbs”, R. A. C. Turim (1885); “Risultati di Aucune Esperienze sul Transformatore Zipernowsky, Déri, Blathy”, Budapeste (1885); “Sulle Differenze di Fase delle Correnti, sul Ritardo dell’Induzione e sulla Dissipazione di Energia nei Transformatori”, R. A. C. Turim (1887)

[¹⁷] Riccardo Arno; “Galileo Ferraris”, L’Éclairage Électrique, T. XI, pp. 135–138, 1897