

# A evolução dos instrumentos de medidas eléctricas no século XIX

DÉCIO RUIVO MARTINS e LUIZ ALTE DA VEIGA

Departamento de Física da Universidade de Coimbra — 3000 COIMBRA

Decorria o ano de 1785, quando Coulomb determinou, com a balança electrostática, a lei quantitativa da interacção entre corpos electrizados. O comportamento qualitativo da electricidade estática já tinha sido estabelecida pelo físico francês Charles du Fay no ano de 1733. A independência do comportamento magnético e eléctrico manifestados pela matéria era ponto aceite pela comunidade científica, uma vez que os «fluidos magnéticos» jamais podiam abandonar a barra magnética, enquanto que os fluidos eléctricos o podiam fazer. No entanto a escola alemã, influenciada pela «Philosophia Natural», acreditava na unidade de todas as forças e procurava uma relação entre a electricidade e o magnetismo, a qual teve decisiva influência no trabalho de investigação de Oersted.

A história da electricidade e do magnetismo passa, necessariamente, pelo trabalho realizado por Alessandro Volta, o qual culminou com uma carta dirigida a Sir Joseff Banks, presidente da Royal Society, datada de 20 de Março de 1800 e publicada nas «Philosophical Transactions». Segundo Volta, o aparelho que havia construído assemelhava-se, nos seus efeitos, às garrafas de Leyde, mas ao contrário destas podiam «carregar-se a si próprias após cada explosão». O instrumento que havia descoberto parecia ter uma carga inesgotável. Era capaz de exercer uma acção ou impulso sobre o fluido eléctrico, duma forma contínua e aparentemente sem limites. Neste relatório, descreve as sensações que sentia quando tocava simultaneamente com os dedos húmidos nos terminais da pilha. Nalgumas das experiências que realizou, colocava as mãos em dois recipientes que continham soluções dum sal, os quais eram ligados aos terminais da pilha, através de uma fita de cobre, o que lhe permitia sentir com maior intensidade o choque

eléctrico. Por outro lado, tendo construído diferentes pilhas, nas quais dispunha de associações de trinta, quarenta ou sessenta elementos associados, foi possível investigar a sua acção sobre o fluido eléctrico, consoante o número de elementos constituintes. O choque que sentia aumentava de intensidade quando aumentava o número de elementos da pilha utilizados, chegando a ser doloroso quando utilizava um número superior a vinte elementos associados.

Após a descoberta de Volta observou-se o desenvolvimento de diversos modelos de pilhas electroquímicas, de que o modelo de pilha de Aliseau é um exemplo (fig. 1).

Em 1801, Oersted iniciou uma série de viagens à Alemanha e França, tendo oportunidade de conhecer Ritter, com quem realizou algumas pesquisas no sentido de demonstrar a existência de relações entre os fenómenos eléctricos, calor, luz e efeitos químicos. Em Janeiro de 1804 regressou à Dinamarca, onde continuou a desenvolver os seus trabalhos de investigação em Física e Química. No artigo intitulado: «Pesquisa sobre a Identidade das forças Eléctricas e Químicas» publicado em 1812, admitiu a hipótese de que os fenómenos magnéticos eram produzidos pela electricidade. Em 1817, construiu conjuntamente com Esmark, uma grande bateria com uma pequena resistência interna, com a qual realizou estudos sobre fenómenos electrolíticos. No inverno de 1819-1820, quando proferia um conjunto de lições sobre electricidade, magnetismo e galvanismo, perante uma audiência que tinha sido previamente elucidada sobre os princípios da «Philosophia Natural», observou o efeito de uma corrente eléctrica sobre uma agulha magnética. Ao contrário do que muitas vezes se afirma, este acontecimento não teria sido meramente accidental. Em 21 de Junho de 1820, anunciou a sua

descoberta no artigo «Experimenta circa effectorum conflictus electricitatis in acum magneticam». Neste artigo são descritas algumas experiências, bem como algumas regras para se determinar a direcção da força sobre o polo magnético. Segundo Oersted, quando as duas extremidades

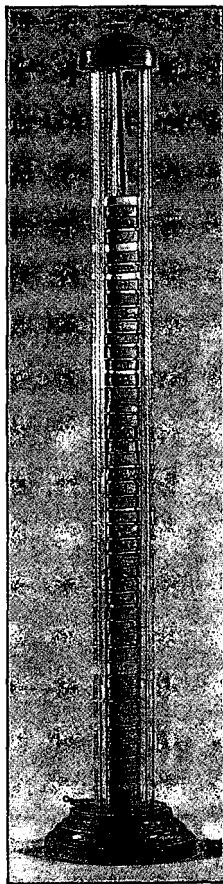


Fig. 1 — PILHA DE ALISEAU: «Uma pilha galvânica da invenção de Aliseau.»

[87,9×16,1, em zinco, cobre, porcelana, vidro e madeira; MFUC: 435, Index 1824, N-IV-166]

de uma pilha eram postas em contacto com um fio metálico, produzia-se um «conflito eléctrico» no condutor e no espaço que o circunda, provocando o desvio da agulha magnética. No seu artigo, afirmava que «o pólo debaixo do qual entra a electricidade negativa move-se para Oeste». Esta observação permitiu-lhe concluir que o «conflito eléctrico» deveria descrever círculos coaxiais, sendo o eixo comum destes círculos coincidentes com o próprio fio condutor

de electricidade. Para além deste movimento em círculos, admitiu um movimento progressivo ao longo do condutor eléctrico, resultando da associação dos dois movimentos uma linha helicoidal.

As experiências realizadas por Oersted, utilizando um instrumento manifestamente simples na sua concepção, foram suficientes para fazer abalar as estruturas da mecânica newtoniana. A natureza desta força magnética era completamente estranha às forças conhecidas na época. A força de interacção entre a corrente eléctrica e a agulha parecia não se orientar segundo uma linha recta definida pelos dois pontos em interacção, como acontecia no caso das forças gravitacionais, forças de interacção entre cargas eléctricas em repouso, ou entre os polos de dois ímans, isto é, parecia não se tratar de uma força central. Com efeito, as primeiras interpretações sobre a interacção entre uma agulha magnética e uma corrente eléctrica viriam a pôr em causa a lei da acção-reacção, não se enquadrando no esquema conceptual newtoniano. Esta experiência colocou a comunidade científica numa encruzilhada onde havia dois caminhos a seguir. Para a solução desta incompatibilidade, ou se criava uma nova mecânica onde fosse permitida a existência de «forças circulares», ou se descobria o carácter central deste «novo» tipo de forças. Este foi o caminho seguido com êxito por Ampère, Biot e Savart, salvando assim os princípios fundamentais da mecânica newtoniana. A figura 2 representa um modelo de agulha de Oersted do século XIX, utilizado para fins didáticos.

A rapidez com que as descobertas de Oersted se projectaram na comunidade científica é bem conhecida. Antes do fim do ano de 1820, Ampère descobriu a acção mútua entre correntes eléctricas e Arago construiu o primeiro electroímã. Por outro lado, estavam criadas as condições para que em 1824, Ohm desse mais um grande passo para o desenvolvimento científico, ao chegar à lei conhecida pelo seu nome. Um dos aspectos importantes para a posterior evolução, foi o da classificação e definição quantitativa de conceitos como corrente eléctrica, diferença de potencial e força electromotriz.

A série de artigos que Ampère publicou até ao ano de 1827 foram decisivos para a história da Física. Destes destacam-se a «Memória da Teoria Matemática dos Fenómenos electro-dinâmicos deduzidos unicamente a partir de experiência», no qual desenvolve um modelo matemático para a lei de interacção entre correntes eléctricas. Foi François Arago, quem levou para Paris as notícias relativas às descobertas de Oersted, das quais foi testemunha durante uma visita a

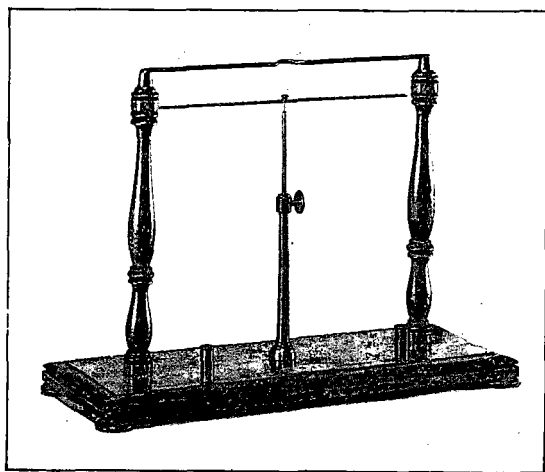


Fig. 2 — AGULHA DE OERSTED: «Duas agulhas magnéticas com um arame ou fio de cobre para transmitir a corrente voltaica. Servem para mostrar a influência da corrente sobre a direcção da agulha.»

[24,2×13,2×33,5, aço e mogno; MFUC: 421, Cat. 1851, O-II-19]

Génova. Os membros da Academia de Ciências estavam inicialmente cépticos quanto ao seu relato. Apenas ficaram convencidos com a demonstração que realizou no dia 11 de Setembro de 1819. Ampère estava presente durante essa demonstração. Este acontecimento constituiu o ponto de partida para as pesquisas que viria a realizar. Durante a realização destas experiências compreendeu que uma agulha magnética poderia ser usada como um instrumento para detectar e avaliar a intensidade de uma corrente eléctrica.

Era aceite que o mecanismo da corrente no interior da pilha, seria distinto da corrente que fluía ao longo do fio ligado entre os pólos da pilha. Ampère chegou à conclusão de que a corrente eléctrica no interior da pilha de Volta

era a mesma que no resto do circuito. O magnetismo não era mais do que correntes eléctricas em círculos, e esta foi a hipótese que Ampère sempre defendeu até ao fim da sua vida. Os trabalhos que se seguiram, tinham por objectivo mostrar que as correntes eléctricas circulares produziam os mesmos efeitos que os ímans permanentes. Em primeiro lugar tentou demonstrar este efeito recorrendo a um fio de cobre enrolado em hélice. Quando duas hélices eram postas próximas uma da outra, observava-se uma atracção entre ambas percorridas por uma corrente eléctrica. Se as extremidades do fio, ligadas à pilha voltaica, fossem comutados entre si observava-se que as duas hélices se repeliam. A hipótese de que o magnetismo não era mais do que o efeito produzido por correntes circulares implicava, no entanto, algumas dificuldades. Como explicar as correntes circulares num íman permanente? Segundo sugestão de Fresnel, Ampère admitiu que estas deviam ser observadas nas «moléculas» individuais do magnete. Para testar esta hipótese, Ampère e Arago realizaram independentemente algumas experiências.

Arago havia observado que uma agulha de ferro, colocada no interior de uma hélice de fio de cobre, ficava magnetizada quando os extremos do fio eram ligados a uma pilha. Este teria sido o primeiro electroíman da história do electromagnetismo. Segundo a hipótese de Ampère, a corrente circular no circuito constituído pela bobina de cobre e pela pilha havia induzido uma corrente circular na agulha de ferro. Admitiu duas alternativas para as características da corrente: 1.ª) a corrente circular seria estabelecida ao longo da agulha de ferro; 2.ª) a corrente circular deveria ter lugar no interior das «moléculas» constituintes da agulha. A experiência realizada no sentido de decidir sobre as duas hipóteses, consistiu em suspender um anel de cobre no interior de uma bobina feita em fio de cobre isolado, de maneira a que o eixo do anel e da bobina ficassem coincidentes. Caso a magnetização observada na agulha usada por Arago resultasse de uma corrente circular em torno do seu eixo, então deveria observar-se também a magnetização no anel de cobre, o que

significaria a indução de uma corrente circular ao longo deste. Contudo, ao aproximar um íman do anel, Ampère constatou que nenhuma interacção era observada entre ambos. Sendo assim, foi levado a aceitar como válida a hipótese de que as correntes circulares, das quais resultava o magnetismo na agulha utilizada nas experiências de Arago, eram correntes que se estabeleciam no interior das «moléculas».

Foram inúmeros os instrumentos científicos e didácticos que desde então se desenvolveram,

«moléculas». Um íman não seria mais do que um feixe de infinitos selenóides justapostos longitudinalmente. Para ilustrar as propriedades magnéticas dos selenóides e a sua semelhança com o comportamento dos ímans, construíram-se selenóides artificiais, utilizando fios de cobre enrolados em hélice (fig. 3). Com estes fios suspensos através de um ponto de apoio, sem atrito, era possível observar a sua orientação ao longo do meridiano magnético, comportando-se como uma agulha de declinação magnética. Por

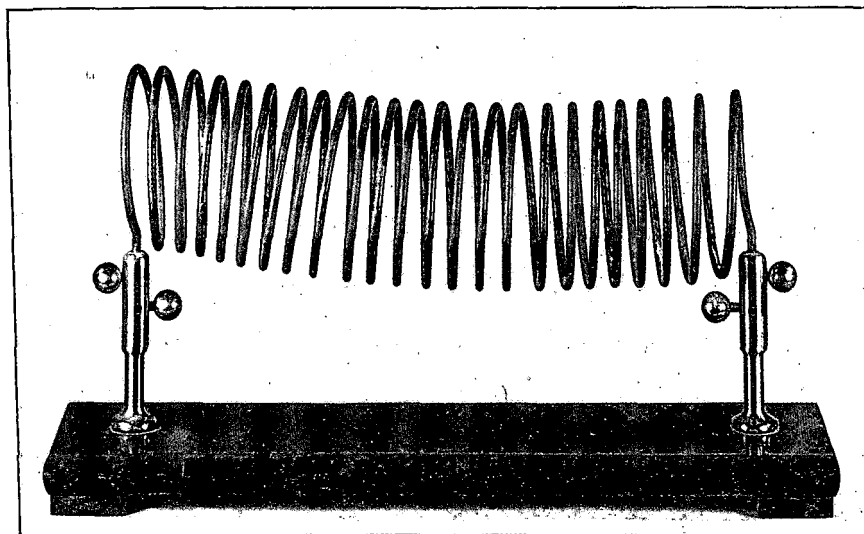


Fig. 3 — SOLENÓIDE

[22,5×10,3, em cobre, latão e madeira; MFUC: 475, Cat. 1878, 475]

no sentido de se investigar e de se ensinar os fenómenos de interacção entre correntes eléctricas. Uma série de dispositivos, com uma grande diversidade de formas geométricas, a partir dos quais se punha em evidência o comportamento de condutores percorridos por uma corrente eléctrica, em presença uns dos outros. Ampère designou por selenóide ou cilindro electrodinâmico um sistema de correntes circulares infinitamente pequenas e infinitamente próximas umas das outras. Estas correntes deveriam ter o mesmo sentido, encontrando-se cada uma delas num plano perpendicular a uma linha comum, podendo esta ser direita ou curva. A configuração assim obtidas tornou-se particularmente interessante pois o modelo teórico proposto, permitiu explicar as propriedades magnéticas dos ímans, com base nas correntes circulares das suas

outro lado, a inclinação magnética era observada desde que o selenóide, orientado ao longo do meridiano magnético, pudesse efectuar um movimento de rotação num plano vertical, em torno de uma direcção normal ao seu eixo. Estudos experimentais demonstraram que dois selenóides interactuavam entre si, exercendo forças de atracção ou de repulsão consoante a proximidade dos seus pólos Norte e Sul. Um comportamento análogo observava-se quando um selenóide era posto em presença de um íman.

Alguns dos dispositivos experimentais criados após os estudos de Ampère tinham a particularidade de fazer rodar em torno de um eixo vertical uma espira de fio de cobre, suspensa de uma agulha, cuja ponta era colocada num pequeno receptáculo com mercúrio. Este movimento de rotação resultava da interacção entre a

corrente eléctrica nessa espira e a corrente eléctrica noutro condutor colocado nas suas imediações. Uma das configurações apresentadas, era a de uma bobina circular apoiada horizontalmente sobre uma prancha de madeira (fig. 4). Daí até à construção de potentes motores eléctricos foi um caminho muito curto que se percorreu. Como resultado destes estudos nasceu um novo mecanismo, do qual o Homem podia beneficiar para a realização de tarefas, onde o esforço de tracção era utilizado. Desde então a engenharia de

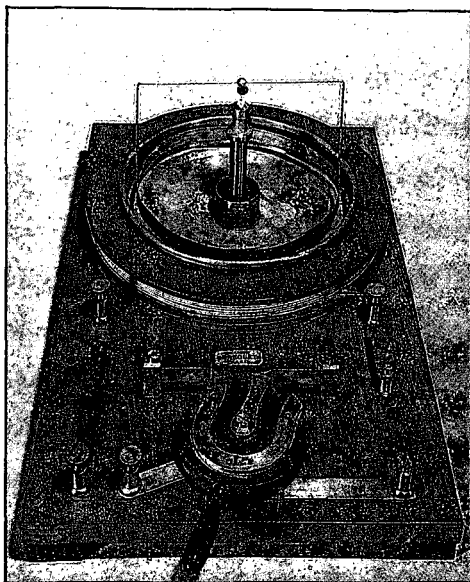


Fig. 4 — MESA DE AMPÈRE: «Quatro aparelhos de Ampère, para experiências sobre as correntes.» [21,0x29,8x51,2, em cobre, latão, bronze e madeira; MFUC: 473; 1878, 473]

máquinas passou a dispor de outros recursos, que têm permitido o vertiginoso progresso tecnológico. Este foi, sem dúvida, um momento da história do pensamento científico onde a capacidade de entendimento do comportamento da Natureza levou ao desenvolvimento tecnológico, que de forma decisiva transformou o modo de vida do Homem. É de realçar o facto de como instrumentos de concepção extraordinariamente simples puderam ter um desempenho tão importante para a história da humanidade, deixando marcos de referência na evolução do conhecimento. O comportamento dos ímãs já era conhecido desde há cerca de mil e quinhentos anos a.C., quando

na China a magnetite era utilizada para a orientação. Muito longo foi o percurso até que uma série de acontecimentos dessem origem a uma profunda revolução na forma de interpretar a Natureza, com as consequentes implicações que este acontecimento teve no desenvolvimento das civilizações. Os estudos experimentais no domínio do electromagnetismo, realizados nos primeiros anos do século XIX, deixaram abertos os caminhos para um profundo desenvolvimento do conhecimento científico e tecnológico.

As descobertas de Oersted, em 1819, e os trabalhos de Ampère, desenvolvidos nos anos vinte do século XIX, levaram ao aparecimento de um novo tipo de instrumentos de medida, os galvanómetros. Ainda no ano de 1820, Schweigger construiu uma armação rectangular de madeira, na qual enrolou um longo fio isolado e que recebeu a designação de multiplicador de Schweigger, com o qual descobriu a termoelectricidade. No interior desta bobina, colocou uma agulha magnética suspensa de um fio fino. Na ausência de corrente eléctrica a agulha orientava-se segundo a direcção do meridiano magnético terrestre. Quando passava corrente eléctrica no fio enrolado na armação, a agulha sofria um desvio angular, cuja amplitude seria dependente da intensidade da corrente. Para resolver a desvantagem da agulha se orientar sempre segundo a direcção do meridiano magnético na ausência da corrente, Nobili, no ano de 1826, concebeu um sistema astático. Este dispositivo era constituído por duas barras magnéticas cilíndricas, orientadas paralelamente entre si, mas com os seus polos magnéticos simetricamente orientados. O sistema estava construído de maneira a que uma das barras ficava localizada no interior do multiplicador, enquanto a outra se encontrava no exterior. O conjunto das duas barras, assim montadas, ficava sujeito a dois binários de forças simétricas quando não houvesse passagem de corrente no multiplicador, e evitava a torsão do fio.

Refira-se que a necessidade de obtenção de instrumentos com elevada precisão tornava necessário que se utilizassem agulhas magnéticas de pequenas dimensões, colocadas na zona central das bobinas. Este procedimento levaria,

no entanto, a uma maior imprecisão na leitura do ângulo de deflexão. No mesmo ano em que Nobili construiu este novo modelo de galvanómetro, Poggendorff instalou, num sistema por si construído, um pequeno espelho plano destinado a reflectir um feixe de luz relativamente fino. Através deste aparelho e com recurso a uma luneta, era possível medir o ângulo de torsão do fio de suspensão da barra ou agulha magnética, quando esta se encontrava sob a influência da corrente eléctrica do influenciador. O ângulo de deflexão era, então, medido através do ângulo de reflexão de um feixe de luz colimado que se fazia incidir sobre o espelho. O feixe de luz incidia, após a reflexão, sobre uma escala graduada, colocada a algumas dezenas de centímetros de distância do espelho.

Entre os anos de 1833 e 1846, Gauss e Weber desenvolveram sistemas bastante sensíveis à acção da corrente eléctrica, tendo criado um modelo de multiplicador de secção elíptica, no interior do qual se movia a barra magnética. Estes aparelhos, construídos com barras magnéticas de dimensões relativamente grandes, apresentavam a desvantagem de oscilar com períodos de oscilação elevados, e pequeno coeficiente de amortecimento, o que tornava as medidas muito demoradas. No ano de 1851, W. Thomson concebeu um sistema extraordinariamente sensível, que se apresentava vantajoso sobre os anteriores pelo facto do período de oscilação das peças móveis ser, comparativamente, bastante menor. O instrumento concebido por Thomson caracterizava-se por apresentar um amortecimento mais rápido. Este modelo de galvanómetro era constituído por três pequenas agulhas magnéticas, colocadas sob a acção do campo magnético criado por duas bobinas circulares (fig. 5). As agulhas eram mantidas suspensas por um fio de torsão, movendo-se solidariamente com um pequeno espelho plano. As pequenas dimensões e massas das agulhas faziam com que o período de oscilação, quando actuadas pela corrente eléctrica, fosse pequeno. O sistema podia assim atingir o repouso na nova posição de equilíbrio em pouco tempo. Para diminuir o efeito do campo magnético terrestre sobre a torsão no fio de suspensão das agulhas, Thomson utilizava uma

barra magnética ligeiramente encurvada. Esta barra era montada no tubo de latão, por onde passa o fio de suspensão das agulhas, podendo subir ou descer ao longo desse mesmo tubo. Por outro lado esta barra podia efectuar um movimento de rotação em torno de um eixo vertical, coincidente com a direcção definida pelo fio de suspensão. Desta forma, tornava-se possível orientá-la de modo a que o campo magnético

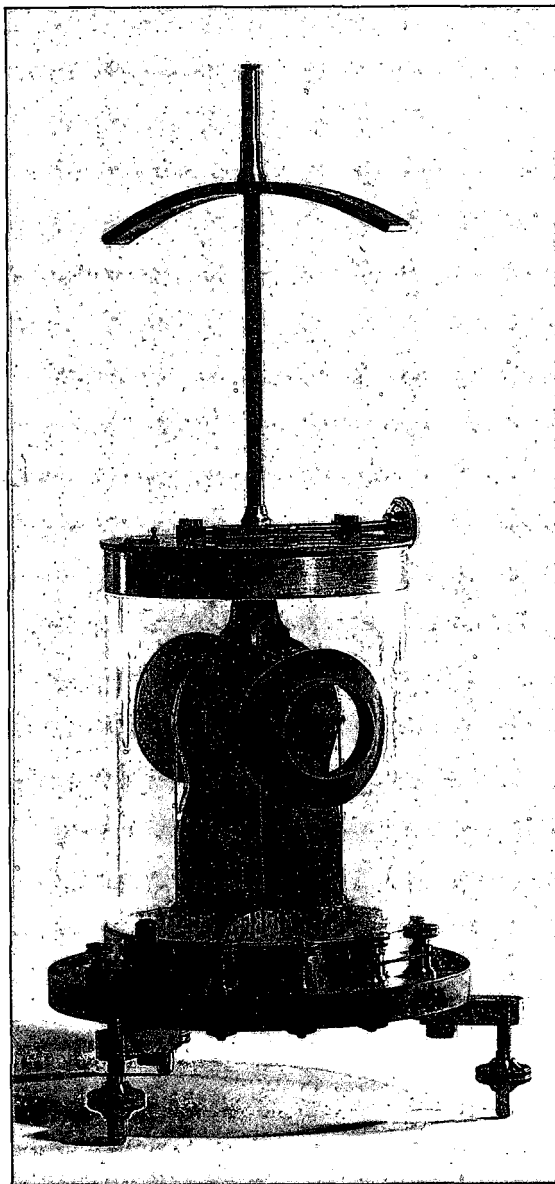


Fig. 5 — GALVANÓMETRO DE THOMSON: «Dois galvanómetros pequenos com campânula de vidro — um de fio fino, outro de fio grosso.»

[Data da aquisição: 1858]

[60,5x27,5, em aço, latão e ébano; MFUC: 424, 1878, 424]

fosse aproximadamente nulo na zona das agulhas, quando não houvesse passagem de corrente nas bobinas. O sistema utilizado por Thomson havia sido inicialmente introduzido por Melloni, em 1841. Este melhoramento traduziu-se num aumento significativo da sensibilidade dos instrumentos de medida.

Como já se fez notar, um dos inconvenientes dos instrumentos de medida era o longo tempo de oscilação da agulha magnética, quando submetida à acção do campo magnético criado pela corrente eléctrica que percorria o multiplicador. Com o objectivo de reduzir este efeito, G. Wiedemann, em 1853, concebeu um aparelho no qual a agulha magnética era encerrada no interior de uma esfera oca de cobre. Os desvios da agulha eram observados através de uma janela feita na coluna por onde passava o fio de suspensão da agulha. O galvanómetro de Wiedemann apresentava duas bobinas circulares montadas sobre um suporte deslizante, que permitia regular o posicionamento destas em relação à agulha magnética, permitindo um aumento de sensibilidade do aparelho. A agulha encontrava-se situada no centro do suporte onde deslizavam as bobinas.

Deprez, em 1880, e Arsonval, em 1881, conceberam um galvanómetro que apresentava um íman em forma de U, tendo entre os seus pólos um enrolamento de forma rectangular de fio de cobre, que constituía um quadro móvel. Este enrolamento era mantido suspenso, entre as regiões polares do íman, através de um fio de prata extremamente fino. Os contactos eléctricos entre os terminais do enrolamento e os terminais de ligação do galvanómetro eram feitos através deste fio de prata. O modelo de galvanómetro de Deprez-Arsonval também apresentava um espelho reflector de um feixe luminoso para a determinação do ângulo de deflexão. Este aparelho revelava-se insensível às variações ocasionais do campo magnético terrestre e ao efeito de outros ímans ou correntes eléctricas que se encontrassem nas imediações, já que a intensidade do campo magnético do íman utilizado permitia que estes efeitos pudessem ser desprezados.

Os instrumentos utilizados ao longo do século XIX para a determinação da intensidade

de corrente eléctrica baseavam-se na determinação das características do campo magnético criado por essas mesmas correntes. Dois métodos fundamentais devem ser realçados: 1.º) Os métodos electromagnéticos, onde o campo magnético criado pela corrente é comparado com o campo magnético terrestre; 2.º) Os métodos electrodinâmicos, baseados na interacção mútua entre dois condutores percorridos por uma corrente eléctrica.

Como exemplos dos métodos electromagnéticos temos a bússola de tangentes, proposto por Pouillet (1837) e utilizada pela primeira vez por W. Weber. Os instrumentos representativos desta família de aparelhos de medida eram constituídos por uma bobina circular, com algumas dezenas de centímetros de diâmetro, percorrida por uma corrente eléctrica de intensidade  $I$ , criadora de um campo magnético. Os primeiros modelos de bússolas de tangente apresentavam uma agulha magnética, relativamente longa, colocada de forma a que o seu ponto médio ficasse coincidente com o centro da bobina. A agulha era apoiada sobre um suporte pontiagudo, praticamente sem atrito, podendo efectuar um movimento de rotação livre em torno de um eixo vertical. A bobina deveria ser orientada paralelamente ao meridiano terrestre. Ao ser percorrida pela corrente eléctrica provocava um desvio angular sobre a agulha, que podia ser medido através de uma escala graduada colocada num plano horizontal, abaixo do plano da agulha. O ângulo  $\Phi$  formado entre a agulha e o plano do meridiano obedecia à seguinte relação:

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{B_0}{B}$$

onde  $B_0$  é a intensidade do campo magnético criado pela bobina, no seu centro, e  $B$  é a intensidade do campo magnético terrestre. O ângulo de desvio da agulha e a intensidade de corrente estão relacionados entre si pela igualdade:

$$I = C \operatorname{tg} \Phi$$

A constante  $C$  depende das dimensões da agulha e da posição desta relativamente à

bobina. Estudos teóricos, confirmados experimentalmente, mostraram que o valor de  $C$  era, com razoável aproximação, independente das dimensões da agulha magnética, se o centro desta estivesse localizado sobre o eixo da bobina, a uma distância  $R/2$  do seu centro. Este facto levou Helmholtz e, independentemente, Gaugian a proporem um novo modelo de bússola de tangentes. Neste modelo a agulha magnética seria deslocada lateralmente, sobre o eixo da bobina, de uma distância  $R/2$ , relativamente ao seu centro. O novo instrumento de medida apresentava uma série de espiras enroladas sobre uma superfície em forma de tronco de cone, de altura igual a metade do raio da base (o ângulo de abertura do cone era de  $126$

dições o centro da agulha estaria a uma distância de  $R/2$  relativamente ao centro de cada espira constituinte da bobina. A quase independência do ângulo de deflexão da agulha, em função das suas dimensões, comprovava a razoável uniformidade do campo magnético nesta região. Em face destes resultados um novo melhoramento foi introduzido por Helmholtz: aplicou à bússola de tangentes uma segunda bobina, sendo os seus eixos coincidentes e distanciadas entre si de forma a que o centro da agulha magnética ficasse a uma distância de  $R/2$  de cada espira constituinte de ambas as bobinas. Os aspectos teóricos deste tipo de bússolas foram estudados por Bravis. Alguns modelos foram desenvolvidos por Mascart e construídos por J. Carpentier.

Maxwell e F. Newmann demonstraram que uma dependência do ângulo de deflexão em função de  $I$  poderia ser consideravelmente simplificada se fossem adicionadas à bússola de tangentes uma série de espiras complementares, convenientemente dispostas em planos contendo a agulha magnética. Todas estas modificações teriam por objectivo a uniformização do campo magnético na região onde seria colocada a agulha magnética. Como exemplo, cite-se um modelo de Mascart, construído por J. Carpentier, apresentando três bobinas. Duas destas bobinas tinham um diâmetro de  $42,6$  cm e a terceira  $57$  cm, todas elas com um eixo comum. As duas bobinas de menores dimensões distanciavam-se entre si de  $19,6$  cm, sendo a terceira colocada

à meia distância esférica, de centro coincidente com o centro da bobina média. As três bobinas estariam assentes sobre essa superfície esférica imaginária. Posteriormente, Riecke concebeu um modelo de instrumento que apresentava um enrolamento assente sobre a superfície de um elipsóide de revolução, no interior do qual era criado um campo completamente homogêneo.

Durante muito tempo a bússola de tangentes foi o instrumento único e fundamental para o estudo da corrente eléctrica. De entre vários modelos de instrumentos, o mais divulgado teria sido o de Siemens e Halske.

Os instrumentos baseados no método electrodinâmico recorriam à acção mútua entre duas correntes de intensidades  $I_1$  e  $I_2$ . Os primeiros modelos apresentavam um enrolamento fixo percorrido por uma das correntes, enquanto o outro enrolamento era suspenso de um fio muito fino. Ao observar-se a interacção entre as correntes eléctricas, a bobina suspensa ficaria sujeita a um binário, originando um momento de torção sobre o fio de suspensão, resultando deste facto um ângulo de deflexão para o conjunto suspenso.

O electrodinamómetro de W. Weber, utilizando nas suas investigações sobre as leis de Ampère, é considerado um protótipo de todos os electrodinamómetros. A bobina móvel encontrava-se suspensa, através de dois fios, no interior da bobina fixa. A corrente eléctrica percorria simultaneamente as duas bobinas, inicialmente com os seus enrolamentos em planos paralelos aos das espiras da bobina fixa. A corrente eléctrica percorria simultaneamente as duas bobinas, inicialmente com os seus enrolamentos em planos paralelos aos das espiras da bobina fixa. Devido à interacção entre as duas correntes, a bobina móvel efectuava um movimento de rotação, através da suspensão bifilar. A amplitude da deflexão era medida recorrendo-se a um pequeno espelho plano solidário com a bobina móvel. O electrodinamómetro de F. Kohlrausch era idêntico ao de Weber, apresentando apenas um fio de suspensão do elemento móvel.

A necessidade do conhecimento do coeficiente de indução mútua das correntes que percorriam cada um dos elementos, levou O. Frolich a propôr um modelo de electrodinamómetro



esférico. Maxwell havia demonstrado que no interior de um enrolamento de fio perfeitamente esférico, percorrido por uma corrente eléctrica, era criado um campo magnético uniforme em toda a sua extensão. Uma bobina esférica suspensa no interior de uma de maiores dimensões, com os seus eixos perpendiculares, ambas percorridas por correntes com a mesma intensidade, fica sujeita a um binário proporcional ao seno do ângulo de deflexão. Se a suspensão for bifilar, o quadrado da intensidade de corrente que percorre simultaneamente as duas bobinas, é proporcional à tangente do ângulo de deflexão do elemento móvel. Se um electrodinómetro baseado neste modelo teórico é simples na sua concepção, é, no entanto, muito complexo na sua execução.

Um modelo de electrodinómetro proposto por Pellat e construído por J. Carpentier, em 1886, era constituído por duas bobinas cilíndricas percorridas pela mesma corrente eléctrica. As dimensões destes elementos do electrodinómetro eram diferentes entre si. Os eixos das duas bobinas estavam dispostos perpendicularmente entre si, estando a bobina de menores dimensões colocada no interior do cilindro maior e localizada no extremo do braço de uma balança. Na outra extremidade do braço da balança encontrava-se suspenso um prato, destinado a colocarem-se pesos conhecidos para o equilíbrio do electrodinómetro. Nestas condições a bobina pequena ficaria localizada numa região onde o campo magnético poderia, com boa aproximação, ser considerado uniforme. Havendo passagem de corrente eléctrica no aparelho, o eixo da bobina de menores dimensões desviava-se da vertical. A amplitude deste desvio permitia a determinação da intensidade de corrente. Pellat demonstrou que o valor da intensidade de corrente que percorre as duas bobinas poderia ser determinado desde que se conhecesse a massa  $m$  dos corpos colocados no prato da balança, por forma a obter-se a reorientação vertical do eixo da bobina móvel. A relação entre estas duas grandezas está expressa na seguinte igualdade:

$$I = \frac{1}{2\pi r} \sqrt{\frac{L}{nn'(L-a)}} \sqrt{mg} = A \sqrt{mg}$$

onde  $n$  e  $n'$  eram, respectivamente, o número de espiras por unidade de comprimento das bobinas grande e pequena, sendo  $r$  o raio de curvatura desta última. A distância entre o ponto de apoio do prato da balança e o seu fulcro é  $L$ . O valor  $(L-a)$  é um factor de correcção proposto por Pellat, tendo em atenção que nos seus cálculos considerou o campo magnético criado por um selenóide de comprimento infinito. A determinação dos valores de que dependiam a constante  $A$  foi feita pelo «Bureau International de Poids et Mesures». Um desenvolvimento deste tipo de electrodinómetro foi construído para o Physikalisch-Technische Reichsanstalt de Charlottenburg, sob a orientação de Helmholtz.

#### BIBLIOGRAFIA

- AMPÈRE, André-Marie — «Experiences relatives à de nouveaux phénomènes électrodynamiques» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XX, p. 60, Paris, Chez Crochard Libraire, 1822.
- AMPÈRE, André-Marie — «Extrait d'un mémoire sur les phénomènes électro-dynamiques (communiqué à l'Académie Royale des Sciences le 22 Decembre, 1823)» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVI, pp. 134, 246, Paris, Chez Crochard Libraire, 1824.
- AMPÈRE, André-Marie — «Mémoire sur la détermination de la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petits de conducteurs voltaïques» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XX, p. 398, Paris, Chez Crochard Libraire, 1822.
- AMPÈRE, André-Marie — «Mémoire sur une nouvelle expérience électro-dynamique, sur son application à la formule qui représente l'action mutuelle de deux éléments de conducteurs voltaïques et sur de nouvelles conséquences déduites de cette formule» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIX, p. 381, t. XXX, p. 29, Paris, Chez Crochard Libraire, 1825.
- AMPÈRE, André-Marie — «Note sur un appareil à l'aide duquel on peut vérifier toutes les propriétés des conducteurs de l'électricité voltaïque découvertes» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, p. 88, 313 Paris, Chez Cloitre Libraire, 1821.
- AMPÈRE, André-Marie — «Suite du mémoire sur l'action mutuelle entre deux courants électriques, entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre, et entre deux aimants» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XV, p. 170, Paris, Chez Crochard Libraire, 1820.
- CHWOLSON, O. D. — *Traité de Physique*, Paris Libraire Scientifique A. Hermann et Fils, 1973.
- DASGUIN, Pierre-Adolphe — *Traité élémentaire de physique théorique et expérimentale*, Paris, Librairie Ch. Delagrave/P. Privat Librairie, 1878.

- FARADAY, Michael — «Sur les mouvemens électro-magnétiques et la théorie du magnétisme» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVIII, p. 337, Paris, Chez Crochard Librairie, 1821.
- FARADAY, Michael — *Experimental researches in electricity*, Londres, Bernard Quaritch, 1839.
- JAMIN, Jules-Célestin — *Cours de physique de l'École Polytechnique*, Paris, Mallet-Bachelier, 1863, 2.<sup>a</sup> ed.
- OERSTED, H. Christian — «Expérience électro-magnétique» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, p. 201, Paris, Chez Crochard Librairie, 1823.
- OERSTED, H. Christian — «Expériences sur l'aiguille aimantée» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIV, p. 417, Paris, Chez Crochard Librairie, 1820.
- OERSTED, H. Christian — «Sur le multiplicateur électromagnétique de M. Schweigger, et sur quelques applications qu'on en a faites» in *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, p. 358, Paris, Chez Crochard Librairie, 1823.
- OHM, George Simon — *The Galvanic Circuit Investigated Mathematically*, Berlin 1827, traduzido por William Francis, New York, D Van Nostrand Company, 1891, Kraus Reprint CO., New York 1969.
- SOUSA, Jacinto António de — *Gabinete de Physica da Faculdade de Philosophia na Universidade de Coimbra*, Coimbra, Imprensa da Universidade, 1878.
- WILLIAMS, L. Pearce — *Michael Faraday*, Londres, Chapman and Hall, 1965.
- WILLIAMS, L. Pearce — «André-Marie Ampère» in *Scientific American*, vol. 260, n.º 2, pp. 82-89, Fevereiro 1989.

#### MANUSCRITO

- FREIRE, José Homem de Figueiredo — *Catálogo dos instrumentos com que tem sido aumentado o Gabinete de Physica da Universidade desde o ano de 1792 até o presente de 1824*, 1 vol. (sem cota).
- JARDIM, Manuel dos Santos Pereira.
- CARVALHO, Joaquim Augusto Simões de — *Catálogo das máquinas aparelhos e utensílios pertencentes ao Gabinete de Physica da Universidade de Coimbra, feitos pelos Doutores Manuel dos Santos Pereira Jardim e Joaquim Augusto Simões de Carvalho, sob a inspecção do lente cathedrático da cadeira de Physica António Sanches Goulão*, 1851, 1 vol. (sem cota)

**Nota:** Os instrumentos dos quais se apresentam as fotografias pertencem à colecção de instrumentos do Museu de Física da Universidade de Coimbra. Nas legendas são indicadas as dimensões do instrumento em cm; o material de que é constituído; o número de inventário (MFUC: —); a primeira referência em catálogos do século XIX, com a sua designação e número de inventário mais antigo.

Fotografias: José Pessoa — Arquivo Nacional de Fotografia.

## INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION

### Light and Information

Univ. Minho, Braga, 16-21 July 1993

#### Sponsorship

- GIREP — International Group for the  
Advancement of Physics Teaching
- IUPAP — International Union of Pure and  
Applied Physics
- EPS — European Physical Society
- SPF — Sociedade Portuguesa de Física

#### Scope of the Conference

The Conference deals with light interaction with matter and its use for the transport and processing of information. It will be specially addressed to physics teachers and specialists in physics education.

#### Topics (Preliminar)

- Historical Development of Concepts in Optics
- Fundamental Aspects of Photosynthesis
- Light and Communication
- Optical Devices
- Artificial Vision
- Optics Teaching
- Light and Vision

#### Organization

Prof. L. Chainho Pereira (chairman)  
Universidade do Minho  
4719 Braga Codex  
Tel. 053-612234  
Fax 053-616936

#### Registration

A pre-registration form is attached and should be filled in and returned by August, 31<sup>st</sup>, to the Local Committee.  
The 2<sup>nd</sup> Circular will be mailed to all those who have pre-registered, in the very near future.