

AMPÈRE E A ORIGEM DO MAGNETISMO TERRESTRE.

AMPÈRE AND THE ORIGIN OF TERRESTRIAL MAGNETISM.

JOÃO PAULO M. C. CHAIB, ANDRÉ K. T. ASSIS

Instituto de Física 'Gleb Wataghin', Universidade Estadual de Campinas – Unicamp,
13083-970 Campinas, São Paulo, Brasil

<jopachaib@yahoo.com.br>, <assis@ifi.unicamp.br>

Abstract— In 1820 Oersted discovered that a long current carrying wire changed the natural orientation of a magnetic needle placed in its neighborhood. Ampère interpreted this experiment as being due to a direct interaction between electric currents existing in the magnet and in the wire. In order to prove his points of view, he performed a series of experiments to establish an analogy between magnetic phenomena (interaction between magnets, or between magnets and the Earth) and the phenomena which he called electrodynamic (interaction between currents). In the same article in which he presented experiments confirming his predictions, he maintained that there is no reason to distinguish the action of a current carrying wire upon a magnet, from the magnetic action of the Earth upon this magnet, or from the action of a magnet upon another magnet. Ampère was the first to present the hypothesis that the terrestrial magnetism is due to electric currents inside the Earth.

Keywords— Ampère, electrodynamics, terrestrial magnetism.

Resumo— Em 1820 Oersted descobriu que um longo fio com corrente alterava a orientação natural de uma agulha magnética colocada em suas proximidades. Ampère interpretou esta experiência como sendo devida a uma interação direta entre correntes elétricas existentes no ímã e no fio. Assim, para fundamentar sua posição, realizou uma série de experiências para estabelecer uma analogia entre os fenômenos magnéticos (interação entre ímãs ou entre ímãs e a terra) e os fenômenos que denominou de eletrodinâmicos (interação entre correntes). E no mesmo artigo em que apresentou experiências confirmando suas previsões, argumentou então que não existe razão em diferenciar a ação de um fio com corrente sobre um ímã, da ação magnética da terra sobre o mesmo ímã, ou mesmo da ação de um ímã sobre outro ímã. Ampère foi o primeiro a apresentar a hipótese de que o magnetismo terrestre é devido a correntes elétricas no interior da própria terra.

Palavras-chave— Ampère, eletrodinâmica, magnetismo terrestre.

Linha temática— História da Ciência.

1. Introdução

Desde a Grécia antiga eram observadas as propriedades do minério de magnetita de atrair o ferro e seus compostos. Também se sabia que o âmbar (*elektron* em grego) atritado atraía corpos leves. Na China, desde pelo menos o século XI d. C., já se utilizavam as propriedades de orientação de uma agulha magnetizada ao longo aproximadamente da direção norte-sul geográfica terrestre, sendo que este conhecimento passou a ser adotado no ocidente por volta do século XII, [1].

Um avanço importante no estudo do magnetismo foi feito por Pedro Peregrino (datas de nascimento e morte desconhecidas, [1]). Baseado na experimentação escreve em 1269 a sua Epístola sobre o Ímã, onde descreve as propriedades e os efeitos dos ímãs naturais. Ele parece ter sido o primeiro a utilizar a expressão pólo para se referir a um pólo magnético, além de apresentar o primeiro método para determinar os pólos de um ímã. Já em 1600, o médico inglês William Gilbert (1540-1603) publicou o livro "Sobre os Ímãs, sobre os Corpos Magnéticos, e sobre o Grande Ímã a Terra", [2]. Neste livro fez uma analo-

gia comparando a terra com um enorme ímã, onde os pólos magnéticos da terra estariam localizados junto aos pólos geográficos.

Gilbert também estudou os fenômenos elétricos. Conseguiu reproduzir o efeito observado no âmbar em uma grande quantidade de materiais. Os materiais que, como o âmbar, atraíam corpos leves após serem atritados foram denominados por Gilbert de elétricos e os outros materiais de não elétricos. Hoje denominamos os primeiros materiais de isolantes e os outros materiais de condutores de carga elétrica.

O século XVIII produziu uma riqueza de experimentadores, inclusive no que diz respeito à electricidade e ao magnetismo. Stephen Gray (1666-1736) descobriu em 1729 a existência de condutores e isolantes elétricos. Charles Du Fay (1698 -1739) propôs em 1733 a existência de dois tipos de carga elétrica, com cargas de mesmo tipo se repelindo e cargas de tipos opostos se atraindo.

Visto de longe, parecia que os fenômenos magnéticos e elétricos não tinham nenhum vínculo. Apesar de haver o fenômeno de atração e de repulsão, existiam diferenças notáveis entre as interações elétricas e magnéticas:

- Vários corpos reagem à presença de um corpo carregado eletricamente, sendo que poucos respondem ao magnetismo.
- Não há análogo no magnetismo para os isolantes elétricos.
- As cargas elétricas podem ser isoladas umas das outras, o que não acontece com os pólos magnéticos (pelo que se tenha notícia até hoje).

Porém, foram sendo observados elementos que levaram vários pensadores a crerem em alguma relação entre o magnetismo e a eletricidade. O fato de peças metálicas serem magnetizadas ao cair um raio sobre elas e a mudança da orientação das bússolas quando um raio caía próximo a elas eram fortes indícios que geravam a suposição da conexão entre magnetismo e eletricidade. Somando-se a tudo isso, Priestley (1733-1804) em 1767, John Robison (1739-1805) em 1769 e Coulomb (1738-1806) em 1785 anunciaram a lei do inverso do quadrado para a força eletrostática, sendo que uma lei análoga para a magnetostática foi anunciada por Coulomb em 1785, [3, págs. 3-5].

Então, no ano de 1820 o cientista dinamarquês e professor da Universidade de Copenhague, Hans Christian Oersted, observou que um longo fio conduzindo uma corrente constante alterava a orientação natural de uma bússola colocada em suas proximidades. Ela deixava de ficar orientada ao longo do meridiano magnético local, [4].

Esta descoberta fundamental desencadeou uma série de pesquisas que levou à criação de um novo ramo da física, relacionando a eletricidade e o magnetismo, ao qual Oersted chamou de eletromagnetismo.

2. Interpretações da Experiência de Oersted

A descoberta de Oersted causou espanto na comunidade científica, mesmo entre aqueles que defendiam a idéia da existência de uma relação entre a eletricidade e o magnetismo. O fenômeno mostrava que um fio condutor retilíneo disposto paralelo ao eixo magnético da agulha imantada causava um torque nesta, mesmo o fio estando simetricamente disposto com relação à agulha. Sendo assim, os mais renomados cientistas da Europa buscaram a explicação para este estranho fenômeno.

Oersted considerou a corrente elétrica composta de dois fluxos de cargas positivas e negativas, movendo-se em direções opostas no interior dos fios com corrente. Estas cargas se encontrariam e separariam continuamente, caracterizando o que chamou de “conflito elétrico”. Para explicar sua descoberta, supôs que este conflito elétrico não ficava restrito ao interior do fio, existindo também no espaço ao redor do fio. Como a agulha ficava inclinada em relação ao meridiano magnético quando havia corrente no fio, Oersted supôs que o conflito elétrico no exterior do

fio seguia trajetórias helicoidais. Além do mais, ele acreditava que o conflito elétrico interagiria com os pólos do ímã, como que os empurrando ao longo do fluxo do conflito elétrico no exterior do fio.

Já Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841) interpretaram esta experiência como uma indicação de que a passagem de corrente pelo fio o havia magnetizado, [5]. Esperavam então explicar o fenômeno através de uma interação entre pólos magnéticos. Ou seja, os pólos magnéticos espalhados ao longo da seção reta do fio (que teria sido magnetizado pela passagem da corrente) estariam interagindo com os pólos do ímã.

Contrariamente à maioria de seus contemporâneos que tentam reduzir o eletromagnetismo ao magnetismo, Ampère propõe um caminho bem diferente: a ação entre correntes elétricas. Assim, não segue o ponto de vista sugerido por Oersted, a saber, que “alguma coisa” gira ao redor do fio quando passa uma corrente constante por ele (como o “conflito elétrico” defendido por Oersted, ou o “campo magnético” de hoje em dia). Ampère defende o princípio Newtoniano da ação e reação direta entre o fio e ímã. Para explicar a experiência de Oersted, defende a existência de correntes elétricas no interior da agulha magnetizada. Deste modo, também se diferencia de Biot quando não assume a existência de moléculas magnéticas no interior do ímã e quando supõe que as forças entre dois elementos de corrente se direcionam ao longo da linha reta que une seus pontos médios, [6, págs. 177-178], nossas palavras entre colchetes:

“E o sábio ilustre [H. C. Oersted.] que viu pela primeira vez os pólos de um ímã transladados pela ação de um fio condutor em direções perpendiculares à direção do fio, concluiu que a matéria elétrica girava em torno deste, e empurrava os pólos no sentido de seu movimento, precisamente como Descartes girava a matéria de seus turbilhões no sentido das revoluções planetárias. Guiado pelos princípios da filosofia newtoniana, reduzi o fenômeno observado pelo Sr. Oersted – como se fez com respeito a todos os fenômenos do mesmo gênero que nos oferece a natureza – às forças agindo sempre ao longo da reta que une as duas partículas entre as quais as forças se exercem. E se estabeleci que a mesma disposição ou o mesmo movimento da eletricidade que existe em um fio condutor ocorre também em torno das partículas do ímã, certamente não é para as fazer agir por impulso à maneira de um turbilhão, mas para calcular, a partir de minha fórmula, as forças que resultam entre estas partículas e as partículas de um condutor ou de um outro ímã – seguindo as retas que ligam duas a duas as partículas entre as quais se considera a ação mútua – e para mostrar que os resultados dos cálculos são completamente verificados [...]”

Ao defender o ponto de vista de que os efeitos magnéticos são devido a correntes elétricas no interior dos materiais, Ampère teve que demonstrar que

poderia reproduzir os efeitos de um ímã sobre outro ímã e de um circuito fechado sobre um ímã, utilizando somente circuitos elétricos. Entre outras coisas teria de reproduzir a atração e repulsão entre pólos magnéticos, a ação diretriz (torque) de um ímã sobre outro ímã, a atração e repulsão entre ímãs dispostos lateralmente, a ação magnética da terra sobre os ímãs, assim como a ação diretriz de um circuito sobre um ímã. Estes experimentos foram discutidos e mostrados nas seções da Academia Real de Ciências da França durante os meses de setembro, outubro e início de novembro de 1820. Foram então publicadas em duas partes no volume 15 dos *Annales de Chimie et de Physique* de 1820.

E é na segunda parte deste trabalho que Ampère apresenta sua discussão a respeito da ação magnética da terra sobre não só sobre um ímã, mas também sobre um condutor com corrente, [7]. Ampère foi o primeiro a demonstrar a ação diretriz da terra sobre um circuito elétrico.

3. A ação da terra sobre uma agulha magnética e sobre uma corrente elétrica.

No artigo citado acima Ampère afirma que, nossas palavras em colchetes, [7, págs 202-203]:

“A primeira reflexão que fiz quando desejei procurar as causas dos novos fenômenos descobertos pelo Sr. Oersted, foi que a ordem pela qual se descobrem dois fatos não interfere em quaisquer conclusões a que se possa chegar a partir das analogias que eles apresentam. Podíamos supor que antes de saber que a agulha imanada assume uma direção constante do sul ao norte – [devido à presença do magnetismo terrestre] – tivéssemos conhecido inicialmente a propriedade de que a agulha é girada por uma corrente elétrica [retilínea] em uma posição [em que o eixo desta agulha fica] perpendicular a esta corrente, de modo que o pólo austral da agulha fosse levado à esquerda da corrente, e que se descobrisse posteriormente a propriedade que ela tem de girar constantemente em direção ao norte [geográfico terrestre, devido ao magnetismo terrestre] a sua extremidade que era levada para o lado esquerdo da corrente. [Se esta fosse a sequência histórica das descobertas,] a idéia mais simples e que se apresentaria imediatamente a quem quisesse explicar a direção constante do sul ao norte, não seria supor [a existência] na terra de uma corrente elétrica, [fluindo] em uma direção tal que o norte [geográfico terrestre] se encontrasse à esquerda de um homem que, deitado sobre a superfície da terra de modo a ter a face voltada para a agulha, recebesse esta corrente indo na direção dos seus pés à sua cabeça, concluindo disto que [esta corrente terrestre] ocorre de leste para oeste, em uma direção perpendicular ao meridiano magnético?”

Neste parágrafo Ampère indica qual raciocínio seguiu para, ao menos, suspeitar da existência de correntes elétricas ao redor do globo terrestre. E ainda utiliza um artifício conhecido depois como o “observador de Ampère” (Figura 1) para indicar qual seria a direção da corrente imaginária. Ampère chamou o plano percorrido por esta corrente terrestre de equador magnético [8, pág. 259].

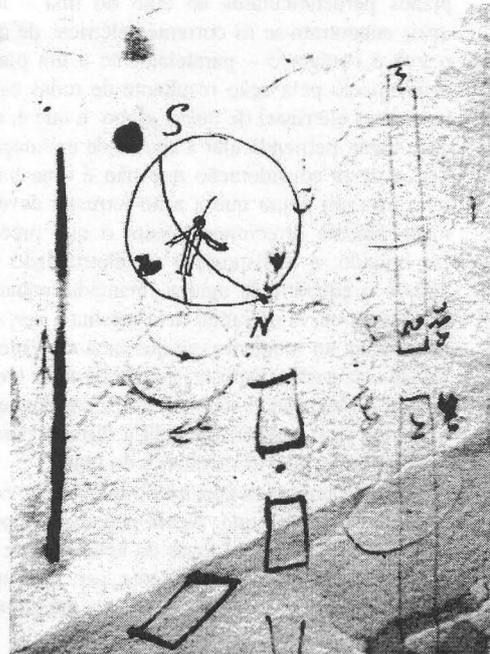


Figura 1. Rascunho encontrado no manuscrito de Ampère do “observador de Ampère”, [9]. Observe que as letras S e N correspondem ao pólo Sul e Norte geográfico, respectivamente.

Mas, se o magnetismo terrestre se deve a correntes elétricas, estas correntes elétricas devem também interagir com as correntes elétricas de um outro circuito. Deste modo, Ampère tenta observar a ação da terra sobre um circuito dobrado de forma helicoidal e suspenso por um eixo em seu centro passando perpendicularmente pela hélice. O resultado foi negativo. A princípio acreditou que o problema estava no atrito que impedia que seu instrumento girasse adequadamente. Porém ao fazer outra experiência, com outro objetivo, deu-se conta, através de um fato inesperado, que o tamanho da espira era o problema sobre o qual não havia pensado. Segundo Ampère, nossas palavras entre colchetes [7, pág 188]:

“Não tive êxito nas primeiras experiências em mover o fio condutor de uma corrente elétrica pela ação do globo terrestre. Talvez [este insucesso tenha sido causado] menos pela dificuldade de obter uma suspensão bem móvel, do que pelo fato de, em vez de procurar na teoria que relaciona os fenômenos magnéticos às correntes elétricas a disposição mais favorável a este tipo de ação, eu estava preocupado com a idéia de imitar da melhor forma possível a disposição das correntes elétricas do ímã no

correntes elétricas do ímã no arranjo das correntes sobre o qual queria observar a ação da terra. [...] Esta idéia me impediu de notar que não é de toda forma, mas apenas de maneira indireta, que esta ação leva o pólo austral da agulha imantada ao norte e para baixo, e o pólo boreal ao sul e para cima. [Esta idéia também me impediu de notar] que o seu efeito imediato é o de colocar os planos perpendiculares ao eixo do ímã – nos quais encontram-se as correntes elétricas de que o ímã é composto – paralelamente a um plano determinado pela ação resultante de todas estas [correntes elétricas] de nosso globo, e que é, em cada lugar, perpendicular à agulha de inclinação. Segue desta consideração que não é uma linha reta, mas um plano que a ação terrestre deve imediatamente direcionar. Assim o que precisa ser imitado, é a disposição da eletricidade seguindo o equador da agulha imantada, equador que é uma curva entrando nela mesma e ver, em seguida, se no momento em que uma corrente elétrica está assim disposta, a ação da terra tende a levar o plano onde se encontra [a corrente elétrica] em uma direção paralela à direção para a qual ela tende a levar o equador do ímã.”

Antes, Ampère havia construído uma hélice com voltas de diâmetro pequeno. Agora percebe que para a demonstração que deseja fazer da ação diretriz da terra sobre um condutor com corrente, necessita apenas de uma espira com um raio relativamente grande, [7, pág 191]:

“Deduzi então que multiplicando o número das espiras de que a espiral era composta, não se aumentava desta maneira o efeito produzido pela ação da terra, porque a massa a ser movida aumentava proporcionalmente à força motriz. De onde concluí que obteria mais simplesmente os mesmos fenômenos de orientação empregando, para representar o equador de uma agulha imantada, uma só corrente elétrica que retorna sobre ela mesma [...]. Ao mesmo tempo compreendi que a forma do circuito era irrelevante, desde que todas as partes estivessem em um mesmo plano, dado que era um plano que se tratava de direcionar”.

Sendo assim, em 30 de outubro de 1820 Ampère apresenta diante da Academia uma experiência com duas espiras grandes as quais se orientam devido à ação exercida pela terra, (Figura 2).

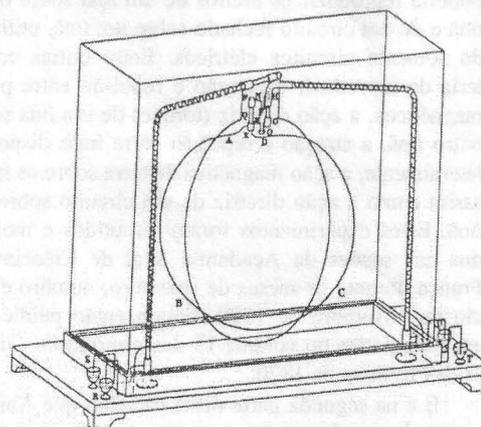


Figura 2. Experiência onde Ampère demonstra a ação da terra sobre um circuito elétrico, [7].

Ampère afirma que, nossas palavras entre colchetes, [7, págs 192-193]:

“Quando se deseja observar a ação que a terra exerce sobre uma corrente elétrica, faz-se passar esta corrente apenas no círculo móvel. [...] Então, ao se passar uma corrente elétrica neste círculo, ele girará de modo a se dispor no plano indicado pelo círculo fixo [que está contido no plano vertical e perpendicular ao meridiano magnético], passando deste no início – em virtude da velocidade adquirida – voltando posteriormente e cessando de movimentar-se após algumas oscilações”.

Assim, tem-se o sucesso completo da analogia entre um ímã e um circuito elétrico fechado. Mais tarde, Faraday em 1821 encontrará um fenômeno de rotação de um ímã ao redor de um fio e de um fio ao redor de um ímã, efeito que Ampère também reproduziu usando somente correntes elétricas. E mais, também produziu o movimento de rotação utilizando um circuito em espiral sob ação da terra, [8, pág. 259].

4. Hipótese sobre a origem das correntes que geram a ação magnética terrestre.

Após constatar a ação da terra sobre um circuito elétrico fechado, resta a Ampère explicar a origem desta corrente e posteriormente modelá-la matematicamente.

Para a explicação da corrente terrestre, Ampère argumenta que, nossas palavras entre colchetes [7, págs. 203-204]:

“Se existe esta corrente, ela deve ser parecida com a [corrente existente] na pilha que mostrei agir sobre a agulha imantada – dirigindo-se da extremidade de cobre à extremidade de zinco – quando se colocava um condutor entre elas, e que existiria da mesma forma se, com a pilha formando uma curva fechada, elas [as extremidades] estiverem reunidas por um par semelhante às outras, porque não há provavelmente

nada no nosso globo [terrestre] que se assemelha a um condutor contínuo e homogêneo. Mas as matérias diversas das quais é composto [o globo terrestre] são precisamente no caso de uma pilha voltaica formadas de elementos dispostos aleatoriamente, e que, voltando sobre si próprias, formariam como que um cinturão contínuo ao redor de toda a terra. Elementos dispostos [aleatoriamente] fornecem, sem dúvida, menos energia elétrica do que se eles estivessem em uma ordem periodicamente regular. Mas seria necessário que fossem arranjados intencionalmente de modo que – em uma série de substâncias diferentes formando uma curva fechada ao redor da terra – não houvesse corrente em um sentido ou no outro. Encontra-se que, de acordo com o arranjo das substâncias da terra, esta corrente ocorre do leste para o oeste, e que ela direciona por toda parte a agulha imantada perpendicularmente à sua própria direção. Esta direção traça assim sobre a terra um paralelo magnético, de modo que o pólo da agulha que deve estar à esquerda da corrente se encontra constantemente levada [por esta corrente terrestre] para o norte [geográfico], e a agulha [física] direcionada de acordo com o meridiano magnético.”

Desta maneira a razão pela qual existe uma corrente elétrica no globo terrestre é devida à disposição de seus elementos de forma que esta corrente flui de leste para oeste. Porém não deixa de observar que esta não deve ser a única fonte da ação terrestre sobre a agulha, [7, págs. 205-206]:

“Quanto ao resto, estou longe de crer que seja somente nestas ações que reside a causa das correntes elétricas que são indicadas pela direção que assume a agulha imantada em cada ponto da superfície da terra. Creio, pelo contrário, que a causa principal é muito diferente, como terei ocasião de dizê-lo em outra ocasião. Quanto ao resto, esta causa, dependente da rotação da terra, daria em cada lugar uma direção constante à agulha, o que é contrário à observação. Por conseguinte, considero a ação eletromotriz das substâncias das quais compõe-se o planeta que habitamos, como se combinando com esta ação geral, e explicando as variações [que se observam na orientação da bússola em relação à direção norte-sul geográfica] na medida que a oxidação se desenvolve em uma ou em outra região continental da terra.

Quanto às variações diurnas, explicam-se facilmente pela mudança alternada de temperatura destas duas regiões durante a duração de uma rotação do globo terrestre, [elas se explicam ainda] mais facilmente por se conhecer há muito tempo a influência da temperatura sobre a ação eletromotriz, influência sobre a qual o Sr. Des-saignes fez observações muito interessantes.”

Apesar de expressar qualitativamente o seu modelo em 1820, e em 1822 obter a sua fórmula com-

pleta para a ação entre elementos de correntes, será em 1823 que seu aluno Savary obterá um resultado quantitativamente relevante para a teoria das correntes terrestres.

Para calcular o equivalente à ação eletrodinâmica da terra, Savary modifica a concepção inicial de Ampère. Substitui a hipótese citada acima pela de “correntes paralelas ao equador magnético cuja intensidade vai decrescendo muito rapidamente de um lado a outro deste equador e cujos raios sejam suficientemente pequenos com relação ao raio da terra, para que se possa negligenciar, no cálculo, as 4as potências de suas razões com este raio”.

Com esta hipótese ele obtém a relação de Bowditch entre a inclinação magnética (i) e a latitude (l): $\text{tg}(i) = 2 \text{tg}(l)$, [10, pág. 141].

Desta forma Ampère consegue um resultado favorável não só para a forma como concebeu a ação entre correntes, como também para sua concepção de correntes elétricas gerando os efeitos magnéticos no globo terrestre.

Assim, em sua principal obra “Teoria dos Fenômenos Eletrodinâmicos Deduzida Unicamente da Experiência”, publicada no ano de 1826, Ampère faz a seguinte observação, [6, págs. 371-372]:

“A ação – a que reconheci a existência – entre a terra e os condutores voltaicos, não permite mais duvidar que existam correntes, semelhantes às correntes dos fios condutores, no interior do nosso globo. [...] Não existe, entretanto, e não pode existir, de acordo com a identidade dos efeitos explicados na nota precedente, nenhuma prova sem réplica que as correntes terrestres não ocorrem somente ao redor das partículas do globo”.

Aqui se destaca que Ampère também considera como possível que também haja contribuição das correntes “ao redor das partículas do globo” na ação magnética terrestre, indicando que ainda havia muito para ser estudado.

5. Conclusão

Observa-se que Ampère, por ser o pioneiro na concepção da ação eletrodinâmica, foi o primeiro cientista a defender que o fenômeno da ação magnética terrestre se deve à interação entre correntes elétricas existentes no globo com correntes externas a ele.

Também é notável a transição que faz do mundo microscópico para o mundo macroscópico utilizando sua intuição e pistas que obtém experimentalmente para explicar o magnetismo terrestre.

Por fim, a ruptura que Ampère fez com as concepções eletromagnéticas que tinham mais força na época, permitiu a este construir uma nova forma de conceber os fatos levando a descrições teóricas inéditas sobre o fenômeno do magnetismo terrestre que até então só era constatado de forma pragmática.

6. Agradecimentos

João Paulo M. de C. Chaib agradece o apoio financeiro da Funcamp/Unicamp concedido através de uma bolsa de doutorado.

7. Referências Bibliográficas

- [1] E. Grant, "Peter Peregrinus," in: C. C. Gillispie (editor), *Dictionary of Scientific Biography*, Vol. 9, págs. 532-540 (Charles Scribner's Sons, New York, 1981).
- [2] W. Gilbert, "On the Loadstone and Magnetic Bodies and on the Great Magnet the Earth," in: *Great Books of the Western World*, Vol. 28, págs. 1-121 (Encyclopaedia Britannica, Chicago, 1978). Traduzido do latim por P. F. Mottelay.
- [3] R. A. R. Tricker, *Early Electrodynamics – The First Law of Circulation* (Pergamon Press, Oxford, 1965).
- [4] R. d. A. Martins, *Cad. Hist. Fil. Ci.* 10, 89-114 (1986), "Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo."
- [5] J. B. Biot e F. Savart. Note sur le magnétisme de la pile de Volta. *Annales de Chimie et de Physique*, 15: 222-223, 1820.
- [6] A. -M. Ampère. *Théorie Mathématique des Phénomènes Électro-dynamiques Uniquement Dédites de l'Expérience*. Éditions Jacques Gabay, Sceaux, 1990.
- [7] A. -M. Ampère. Suite du Mémoire sur l'Action mutuelle entre deux courans électriques, entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre, et entre deux aimans. *Annales de Chimie et de Physique*, 15: 170-208, 1820. Available at: <http://www.ampere.cnrs.fr/>.
- [8] A. -M. Ampère. *Recueil d'observations électro-dynamiques, contenant divers mémoires, notices, extraits de lettres ou d'ouvrages périodiques sur les sciences, relatifs à l'action mutuelle de deux courans électriques, à celle qui existe entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre, et à celle de deux aimans l'un sur l'autre*. Crochard, Paris, 1822. Despite this date this volume was only published in 1823, as there is on page 345 an extract made by Savary of a work he presented to the Academy of Sciences in 1823. Available at: <http://gallica.bnf.fr/>
- [9] A.-M. Ampère. *Archives de l'Académie des Sciences de Paris*, carton 8, chemise 156.
- [10] C. Blondel. A. -M. Ampère et la Création de l'Électrodynamique (1820-1827). *Bibliothèque Nationale*, Paris, 1982.