

Apresentação distorcida da obra de Ampère nos livros didáticos¹
(Distorted presentation of Ampère's work in textbooks)

J. P. M. C. Chaib e A. K. T. Assis

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

Homepage: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>
Emails: jopachaib@yahoo.com.br e assis@ifi.unicamp.br

Resumo: Analisamos como alguns livros didáticos representativos do ensino de física a nível de graduação e de pós-graduação apresentam a obra eletromagnética de Ampère. Apresentamos trechos das obras de Purcell, Tipler, Feynman, Halliday, Resnick e Walker, entre outros. Consideramos, em particular, a força entre elementos de corrente, a lei circuital magnética e a expressão do campo magnético. Comparamos os dados fornecidos por estes livros com os dados apresentados em livros de história da ciência e na obra de Ampère. Mostramos que as informações apresentadas são distorcidas e que não correspondem à realidade histórica. Ao contrário do afirmado em boa parte destas obras, Ampère não trabalhava com o conceito de campo magnético circulando ao redor de condutores com corrente. Em vez disso, concentrava seu trabalho na força à distância entre elementos de corrente. Esta apresentação distorcida do seu trabalho de pesquisa e de suas concepções teóricas pode levar os estudantes e futuros profissionais a ter uma visão errônea da evolução da física e da formulação de suas leis.

Abstract: We analyze how some representative textbooks of physics teaching at undergraduate and graduate levels present Ampère's electromagnetic law. We present some sections of the books of Purcell, Tipler, Feynman, Halliday, Resnick and Walker, and a few others. We consider, in particular, the force between current elements, the magnetic circuital law and the expression for the magnetic field. We compare the data obtained from these textbooks with what comes from the books on the history of science and from Ampère's work. We show that the information presented is distorted and does not correspond to the historical reality. Contrarily to what is said in some of these textbooks, Ampère did not work with the concepts of a magnetic field circulating around current carrying wires. Instead of this, he concentrated his work on the force at a distance between current elements. This distorted presentation of his research work and of his theoretical conceptions may lead the students and future professionals to have an erroneous view about the evolution of physics and about the formulation of its laws.

Palavras Chave: Eletrodinâmica, lei de Ampère, força de Ampère, livros didáticos.

PACS: 01.30.M- (Textbooks), 01.50.Zv (Errors in physics classroom materials), 01.65.+g (History of science), 03.50.De (Classical electromagnetism, Maxwell equations), 41.20.Gz (Magnetostatics).

¹ Artigo publicado nos Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina, PR, 15 a 19/08/2006. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epenf/x/atas/resumos/T0023-1.pdf>.

1. Introdução

Nosso objetivo neste artigo é o de analisar como a maioria dos livros-texto apresenta as leis magnéticas e de interação entre condutores no caso de correntes constantes. Veremos que são apresentadas distorções históricas que não correspondem à realidade dos fatos.

Kuhn apresenta uma descrição clara dos objetivos e da estrutura dos livros didáticos adotados em ciências, [1], p. 178, nossa ênfase: “Os manuais, por visarem familiarizar rapidamente o estudante com o que a comunidade científica contemporânea julga conhecer, examinam as várias experiências, conceitos, leis e teorias da ciência normal em vigor tão isolada e sucessivamente quanto possível. (...) *O manual sugere que os cientistas procuram realizar, desde os primeiros empreendimentos científicos, os objetivos particulares presentes nos paradigmas atuais.* (...) Mas não é assim que a ciência se desenvolve.”

Como conseqüência, alguns fatos históricos são distorcidos, conscientemente ou não, pelos livros didáticos. Com isto muitas vezes se oculta a disputa de paradigmas que existiu em uma dada época. Estas distorções acontecem a ponto de se creditar idéias a autores que não as conceberam. Também se chega a estabelecer uma ordem histórica das concepções de forma errônea para que, no final das contas, a seqüência estabelecida pelo livro didático se enquadre coerentemente com a idéia de acúmulo linear de conhecimento.

Como exemplo desta linha editorial dominante, explicitaremos as contradições históricas encontradas em alguns livros didáticos usados no decorrer da formação do físico, desde sua graduação até seu doutoramento. Os exemplos escolhidos são representativos daquilo que se encontra em diversos outros livros similares. Em particular, lidaremos com aspectos da eletrodinâmica clássica relacionados com a interação entre ímãs e correntes, e também com a interação entre dois condutores transportando correntes constantes. Mais especificamente, trataremos da lei circuital magnética e da força de Ampère.

Neste caso, usualmente é traçada uma linha da evolução da eletrodinâmica obedecendo à seqüência Oersted, Biot-Savart, Ampère, Faraday e Maxwell. Cada um acrescentando formalmente uma determinada parcela de conhecimento para o acúmulo e desenvolvimento da ciência do eletromagnetismo.

O que temos de ponto passivo entre todos os livros e os documentos históricos é que os trabalhos sobre a eletrodinâmica tiveram um salto qualitativo a partir de um artigo de Oersted de 1820 intitulado “Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética,” [2]. Neste trabalho Oersted apresenta sua descoberta fundamental da deflexão de uma agulha magnética por um circuito próximo no qual circula uma corrente constante. Entre os vários filósofos da natureza que, logo após saberem do trabalho de Oersted, passaram a estudar a relação entre o galvanismo (efeitos produzidos por uma corrente elétrica) e o magnetismo destacam-se Jean-Baptiste Biot, Félix Savart e André-Marie Ampère.

2. Análise de Alguns Livros Didáticos Representativos

Começamos agora nossa análise de alguns livros-texto relevantes.

Purcell destaca que “Ampère deu uma formulação matemática completa e elegante da interação de correntes estacionárias e da equivalência entre a matéria magnetizada e sistemas de correntes permanentes,” [3], p. 162. No entanto, não explicita quais os resultados matemáticos que o físico francês alcançou. Nas Seções 5.1 e 5.2 de seu livro, págs. 139 a 142, Purcell apresenta um resumo dos resultados experimentais de Oersted e de Ampère. Mas afirma que não vai adotar a apresentação histórica dos fenômenos e leis, mas que “seguiremos esse caminho *quase em sentido contrário,*” [3], p. 140. Esta apresentação da física em sentido contrário aos acontecimentos históricos impede que se apresentem as contradições epistemológicas que ocorreram ao longo do tempo. Com isto Purcell mantém a idéia de que o processo de construção das leis que descrevem os efeitos naturais é linear. A visão histórica atrapalharia a concepção didática do livro baseada neste fundamento.

Tipler, [4], págs. 205 e 207, nossa ênfase, afirma: “Um mês depois de Oersted anunciar a descoberta de que a posição da agulha de uma bússola é afetada por uma corrente elétrica, Jean Baptiste Biot e Felix Savart usaram um ímã permanente para medir a força nas proximidades de um fio comprido e analisaram os resultados em termos do campo magnético produzido por elementos de corrente ao longo do fio. André-Marie Ampère *levou adiante estes experimentos (...).*” “A Eq. 29-3, conhecida como **lei de Biot-Savart**, *também foi formulada por Ampère.*” Essa equação 29-3 tem a seguinte forma:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}. \quad (1)$$

Nessa expressão $d\vec{B}$ é o campo magnético gerado no ponto $\vec{r} = r\hat{r}$ pelo elemento de corrente $Id\vec{\ell}$ localizado na origem do sistema de coordenadas. Esta é a maneira moderna de se expressar a lei de Biot-Savart no sistema internacional de unidades e em notação vetorial. Queremos chamar a atenção aqui para a cronologia apresentada por Tipler e para sua afirmação de que Ampère também formulou esta lei. Isto não corresponde à realidade.

Prestemos atenção nas datas, [5], págs. 23, 118 e 140. Em 11 de setembro de 1820 Arago dá a conhecer o trabalho de Oersted à Academia de Ciências francesa. Nas reuniões de 18 e de 25 de setembro de 1820 Ampère mostrou experimentalmente que dois fios paralelos transportando correntes constantes se atraem ou se repelem dependendo da direção das correntes. Em 20 de outubro do mesmo ano Ampère publica seu artigo sobre a ação mútua de duas correntes elétricas. Apenas dez dias depois, em 30 de outubro, Biot e Savart anunciam seus resultados. Ou seja, Ampère apresentou seus primeiros trabalhos antes de Biot e de Savart. Logo está incorreto afirmar que Ampère levou adiante as experiências de Biot e de Savart.

Além disso, Ampère não chegou a nenhuma expressão para o campo magnético devido a um elemento de corrente. Em vez disso, ele trabalhava com a força à distância entre dois elementos de corrente $I_1 d\vec{\ell}_1$ e $I_2 d\vec{\ell}_2$. E chegou ao final de suas pesquisas na seguinte expressão para esta força, em notação vetorial moderna e no sistema internacional de unidades, [6], p. 70:

$$d^2 \vec{F}_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} I_1 I_2 \frac{\hat{r}_{12}}{r_{12}^2} \left[2(d\vec{\ell}_1 \cdot d\vec{\ell}_2) - 3(\hat{r}_{12} \cdot d\vec{\ell}_1)(\hat{r}_{12} \cdot d\vec{\ell}_2) \right]. \quad (2)$$

Percebe-se que, ao contrário do que foi afirmado, Ampère produziu seu trabalho independentemente de Biot e de Savart. E mais, estes dois trabalhos foram baseados em princípios epistemológicos diferentes. Enquanto que a expressão de Biot-Savart descreve o *campo magnético* produzido por um elemento de corrente elétrica, a força de Ampère descreve uma *ação à distância* entre os *elementos de corrente* de dois fios pertencentes a circuitos diferentes.

Ampère chegou a afirmar explicitamente que era contrário à idéia de uma matéria elétrica (análoga ao campo magnético de hoje em dia) circulando ao redor de um fio com corrente. Citamos aqui alguns trechos do trabalho de sua obra principal publicada em 1827, intitulada “Sobre a Teoria Matemática dos Fenômenos Eletrodinâmicos, Deduzida Experimentalmente”, [5], págs. 155 a 157:

P. 155 (entre colchetes vão nossas palavras): “A nova era na história da ciência marcada pelos trabalhos de Newton, é não apenas a época da descoberta mais importante pelo homem das causas dos fenômenos naturais, mas também a época na qual o espírito humano abriu uma nova avenida nas ciências que possuem os fenômenos naturais como seu objeto de estudo. Até Newton, as causas dos fenômenos naturais haviam sido procuradas quase que exclusivamente nos impulsos de um fluido desconhecido que penetrava nas partículas dos materiais na mesma direção que suas próprias partículas; sempre que ocorria movimento rotacional, era imaginado um vórtice na mesma direção. Newton nos ensinou que movimento deste tipo, como todos os movimentos na natureza, tem de ser reduzido pelo cálculo em termos de forças agindo entre duas partículas materiais ao longo da linha reta que as une tal que a ação de uma partícula sobre a outra seja igual e oposta à ação que a última faz na primeira e, conseqüentemente, supondo que as duas partículas estejam permanentemente associadas, tal que nenhum movimento [do conjunto de duas partículas] possa resultar da interação entre elas.”

Págs. 156-157 (entre colchetes vão nossas palavras): “Não parece que este enfoque [newtoniano], o único que pode levar a resultados que estão livres de todas as hipóteses, seja o preferido pelos físicos no restante da Europa como ele é preferido pelos franceses; o famoso cientista [Oersted] que viu pela primeira vez os pólos de um ímã transportados pela

ação de um condutor em direções perpendiculares à direção do fio, concluiu que matéria elétrica circulava ao redor do fio [como hoje se supõe que o campo magnético circula o fio] e empurrava os pólos junto com ela, assim como Descartes havia feito “a matéria dos seus vórtices” girar na direção da rotação planetária. Guiado pela filosofia newtoniana, reduzi os fenômenos observados pelo Sr. Oerstedt, como já havia sido feito para todos os fenômenos naturais similares, a forças agindo ao longo da linha reta ligando as duas partículas entre as quais é exercida a ação (...)”

Ou seja, para explicar o torque sobre a agulha imantada de uma bússola, que faz com que ela fique perpendicular a um longo fio com corrente com o qual está interagindo, Ampère não utiliza nenhuma matéria circulando o fio, também não utiliza nenhum campo magnético dando voltas no fio (como estamos acostumados a fazer usando a regra da mão direita). Em vez disto Ampère explica o fenômeno utilizando forças de ação e reação entre o fio com corrente e as correntes microscópicas dentro da agulha magnetizada, forças estas ao longo da reta que une cada par de elementos de corrente, Eq. (2).

Usamos tão freqüentemente a noção de um fio com corrente gerando campo magnético que achamos que Ampère já pensava assim. Como vimos acima, em vez disso ele combatia essa noção. Um dos responsáveis por nossa visão deturpada nesse aspecto é sem dúvida alguma o conteúdo dos livros-texto atuais. Feynman, por exemplo, dá a entender que o objetivo principal de Ampère era de entender como uma corrente elétrica gera um campo magnético, [7], p. 13-3. “Gostaríamos agora de tentar descobrir as leis que determinam como estes campos magnéticos são criados. A questão é: Dada uma corrente, qual *campo magnético* ela gera? A resposta a esta questão foi determinada experimentalmente por três experiências críticas e um argumento teórico brilhante dado por Ampère.” Por mais que esta seja uma pergunta introdutória e com o intuito didático, seu peso epistemológico é muito grande. Talvez a melhor frase para Ampère fosse algo como: “Dada uma corrente elétrica, como ela atua em outra corrente elétrica?” Estas duas perguntas não são epistemologicamente equivalentes. Elas embutem diferentes concepções sobre a natureza, sobre suas entidades fundamentais, sobre como estas entidades ou grandezas atuam entre si etc.

O conflito de paradigmas é evidente. A Eq. (2) é discrepante em relação à linha de pensamento da física atual, que descreve os fenômenos naturais através de uma interação mediada por campos. Oersted, Biot, Savart, Faraday e Maxwell defendiam que as interações eletromagnéticas eram deste tipo, embora mediadas por um *éter*. Ampère, por outro lado, descrevia as interações eletrodinâmicas por ação à distância entre elementos de corrente, sem qualquer mediação.

Para descrever a força entre dois elementos de corrente através da noção de campo magnético, Grassmann propôs em 1845, [8], uma força escrita na forma moderna como, [6], p. 75:

$$d^2\vec{F}_{21} = I_1 d\vec{\ell}_1 \times d\vec{B}_2 . \quad (3)$$

Aqui o termo $d\vec{B}_2$ é justamente o campo definido pela lei de Biot-Savart, Eq. (1).

Estas duas formulações não são só diferentes do ponto de vista filosófico. A força de Ampère obedece à terceira lei de Newton na forma forte (ação e reação ao longo da reta que une os dois elementos de corrente), enquanto que a força de Grassmann em geral não obedece à lei de ação e reação nem mesmo na forma fraca.

Porém, quando ambas as forças são integradas ao longo de dois circuitos fechados que estão interagindo entre si, pode-se manipulá-las analiticamente de modo que o resultado final torna-se idêntico. Isto é, embora a expressão da força entre dois elementos de corrente dada por Ampère seja diferente da expressão dada por Grassmann, a força entre dois circuitos fechados obtida pela integração das forças de Ampère e de Grassmann é a mesma, a saber:

$$\vec{F}_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi} I_1 I_2 \oint_1 \oint_2 \frac{d\vec{\ell}_2 \times [d\vec{\ell}_1 \times \hat{r}_{12}]}{r_{12}^2} . \quad (4)$$

Disto surge uma grande confusão. Vários livros apresentam a Equação (4) como sendo a força de Ampère: [9] p. 166, [10], p. 253, [11], p. 218, e [12], p. 177. Mas de fato a Eq. (4) pode ser obtida por

integração tanto partindo da força de Ampère, Eq. (2), quanto da força de Grassmann, Eq. (3), juntamente com o campo magnético dado pela expressão de Biot e Savart, Eq. (1).

Halliday, Resnick e Walker, na quarta edição seu livro apresentam a Eq. (1) acima como sendo a lei de Biot e Savart, [13]. Depois afirmam: “Podemos calcular o campo magnético criado por qualquer distribuição de corrente, usando a lei de Biot-Savart – o equivalente magnético da lei de Coulomb. Novamente, em casos difíceis, temos de recorrer ao cálculo numérico, usando um computador. Entretanto, voltando-se à Tabela 37-2 e examinando as equações do eletromagnetismo reunidas (equações de Maxwell), não encontraremos a Lei de Biot-Savart entre elas. Em seu lugar encontramos a **lei de Ampère**, inicialmente desenvolvida por Andre Marie Ampère (1775–1836),” [13], p. 190. O que os autores chamam de lei de Ampère é apresentada logo abaixo desta citação, a saber:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i . \quad (5)$$

Nesta expressão i é a corrente líquida englobada pela curva fechada na qual se faz a integral de linha do campo magnético. Em termos diferenciais esta lei pode ser escrita como:

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} . \quad (6)$$

Aqui \vec{J} é a densidade volumétrica de corrente.

No entanto, em seu mais importante trabalho intitulado “Teoria matemática dos fenômenos eletrodinâmicos unicamente deduzida da experiência,” [14], não há sinal de que Ampère tenha formulado esta lei na forma diferencial nem integral. Então, quem a formulou? O primeiro a chegar nas Eqs. (5) e (6) no caso de correntes constantes não foi Ampère mas sim o próprio Maxwell, em 1855, em seu primeiro artigo sobre eletromagnetismo, [15], págs. 242-245.

Esta informação é omitida na maioria dos livros. Somando-se a isto o fato de que não é apresentada, nem historicamente, a formulação alternativa de Ampère para a força entre elementos de corrente, leva-se a acreditar que foi realmente Ampère que concebeu as Eqs. (5) e (6).

Em sua *sexta edição* os autores se corrigem, nossa ênfase: “Esta lei, que pode ser deduzida a partir da lei de Biot-Savart, tradicionalmente é creditada a André Marie Ampère (1775-1836), cujo nome foi dado à unidade SI de corrente elétrica. *Entretanto, na verdade a lei foi desenvolvida pelo físico inglês James Clerk Maxwell,*” [16], p. 169. Porém não elucidam qual foi a contribuição de Ampère, nem o motivo de ter sido dado o nome de Ampère à unidade de corrente no Sistema Internacional de Unidades.

Segundo Purcell, [3], p. 68, nossa ênfase e nossa expressão entre chaves, “A palavra “rotacional,” *introduzida por Maxwell,* lembra-nos que um campo vetorial com $\text{rot } F$ diferente de zero [$\nabla \times \vec{F} \neq 0$], tem *circulação, ou vorticidade.*” Alguns porta-vozes da teoria do éter defendiam que a ação de uma corrente criava um *vortex*, uma distorção do meio, que por sua vez causava o movimento do ímã ou do fio com corrente, ver [2], p. 121 e [17]. Sendo assim, não fica difícil entender porque Maxwell se empenhou em formalizar as equações da eletrodinâmica em termos de rotacionais e divergentes de campos chegando na equação (5).

Porém esta equação estava incompleta. O próprio Maxwell corrigiu-se acrescentando mais um termo à equação (5), resultando na equação:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} . \quad (8)$$

Esta última equação pode ser derivada tanto da força de Ampère quanto da lei de Biot-Savart, levando-se em consideração a equação de conservação de cargas, [6], págs. 84-86.

Ora, torna-se contraditório afirmar, como fez Feynman, que “até o trabalho de Maxwell, as leis conhecidas da eletricidade e magnetismo eram aquelas que estudamos nos Capítulos 3 até 17. Em particular, a equação para o campo magnético de correntes estacionárias era conhecida unicamente como $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \vec{J} / \varepsilon_0 c^2$,” [7], p. 18-1. Afinal de contas, foi o próprio Maxwell quem encontrou esta equação, como vimos acima.

No entanto, vários autores insistem em atribuir diretamente ou indiretamente a Ampère a autoria das equações (5) e (6). Com isto reforçam a idéia de que Maxwell teve a perspicácia de notar que esta equação estava incompleta, chegando na forma final da equação (8). Para exemplos desta falsa concepção ver, por exemplo, [18], p. 323, [12], págs. 237-239 e [11], págs. 348-349.

Porém, se introduzirmos um pouco de contexto histórico, parece que na verdade Maxwell buscava uma formulação de campos para a eletrodinâmica. Com isto em mente chegou inicialmente na Eq. (5), corrigindo-a em seguida até chegar na Eq. (8).

3. Conclusão

Nota-se então que os livros didáticos trazem erros que reforçam a idéia de linearidade na história da ciência. Ou seja, onde os conceitos *antigos* estão superados pelos *novos*. Desse modo se pode inferir que não vale a pena entrar em detalhes históricos a respeito dos conceitos “ultrapassados.” De fato é uma tarefa difícil para um livro didático explicitar o caminho da ciência enquanto uma trajetória tortuosa e não como um acúmulo linear. Contudo a contradição e o debate não podem ser encarados como algo fora do comum ou prejudicial à classe, ao livro, à ciência ou à formação dos estudantes. De outra forma estaremos nos educando para termos uma prática sectária, na qual se impede o surgimento de idéias novas e criativas, promovendo apenas um *pensamento único*.

Diz-se que aprendemos com o passado para evitar os erros do futuro. Mas pelo fato do aluno de física ter pouco contato com os textos históricos, fatalmente será doutrinado dentro de uma visão estreita sobre a construção da ciência propriamente dita. E o cientista terá em sua formação uma lacuna crítica a respeito de sua própria profissão.

Com este artigo esperamos ter contribuído para colocar em discussão o problema e minimizar este dano.

Referências

- [1] T. S. Kuhn, *A Estrutura das Revoluções Científicas*, Editora Perspectiva, São Paulo, 2a. edição (1978).
- [2] H. C. Ørsted, *Cad. Hist. Fil. Ci.* **10**, 115-122 (1986), “Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética.” Tradução de R. de A. Martins.
- [3] E. M. Purcell, *Curso de Física de Berkeley, Vol. 2: Eletricidade e Magnetismo*, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 3a. reimpressão (1988). Tradução de W. Wajntal, A. de Oliveira, E. Cavallari, R. O. Zangari e J. Talpe.
- [4] P. A. Tipler, *Física, Vol. 2: Eletricidade, Magnetismo e Ótica*, Editora LTC, Rio de Janeiro, 4a. edição (2000). Tradução de R. de Biasi.
- [5] R. A. R. Tricker, *Early Electrodynamics – The First Law of Circulation*, Pergamon Press, Oxford (1965).
- [6] A. K. T. Assis, *Eletrodinâmica de Weber*, Editora da Unicamp, Campinas (1995).
- [7] R. P. Feynman, R. B. Leighton e M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics, Vol. 2: Mainly Electromagnetism and Matter*, Addison-Wesley, Reading, 7a. impressão (1972).
- [8] H. G. Grassmann, *A New Theory of Electrodynamics*, em R. A. R. Tricker, *Early Electrodynamics – The First Law of Circulation*, Pergamon Press, Oxford (1965), págs. 201-214.
- [9] J. R. Reitz, F. J. Milford e R. W. Christy, *Fundamentos da Teoria Eletromagnética*, Editora Campus, Rio de Janeiro, 3a. edição (1982). Tradução de R. B. Sander e C. Duarte.
- [10] W. Hauser, *Introduction to the Principles of Electromagnetism*, Addison-Wesley, Reading (1971).
- [11] R. K. Wangsness, *Electromagnetic Fields*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2a. edição (1986).
- [12] J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics*, John Wiley & Sons, New York, 3a. edição (1999).
- [13] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física, Vol. 3: Eletromagnetismo*, Editora LTC, Rio de Janeiro, 4a. edição (1996). Tradução de D. H. da S. Sotero.
- [14] A. M. Ampère, *Théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques uniquement déduite de l'expérience*, Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France, Tome VI, 1823. Reimpressão pela editora Jacques Gabay, Sceaux (1990).
- [15] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity, Vol. 1: The Classical Theories*, Humanities Press, New York (1973).
- [16] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física, Vol. 3: Eletromagnetismo*, Editora LTC, Rio de Janeiro, 6a. edição (2003). Tradução de A. S. de Azevedo e J. P. S. de Azevedo.
- [17] R. d. A. Martins, *Rev. Bras. Ens. Fís.* **27**, 11-26 (2005), “A dinâmica relativística antes de Einstein.”
- [18] D. J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 3a. edição (1999).