

# REFLEXÕES SOBRE A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DA LEI DE COULOMB

TEIXEIRA<sup>1</sup>, ANDRÉA Y KRAPAS<sup>2</sup>, SONIA

<sup>1</sup> Colégio Pedro II. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Física

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Educação.

---

**Palavras chave:** Transposição didática; Lei de Coulomb.

## 1. INTRODUÇÃO: REFERENCIAL TEÓRICO/OBJETIVO DA PESQUISA

De acordo com o referencial teórico da Transposição Didática, (Chevallard, 1998) é possível afirmar a diferença entre o saber produzido pelos cientistas e o saber que está escrito nos textos escolares.

Afinal, o saber escolar é produzido na confluência entre o objeto a ser ensinado, que tem um perfil epistemológico definido e independente, um projeto político-pedagógico (explicitado ou não, democraticamente construído ou não) que estabelece conhecimentos, valores e atitudes relevantes, e um conjunto de procedimentos didáticos que deverão tornar o objeto de saber um objeto *ensinável*.

É preciso, porém, muito cuidado para que durante o processo de transposição do *saber sábio* para o *saber a ser ensinado*, o conhecimento de referência não seja distorcido a ponto de se tornar irreconhecível. Chevallard (1998, p. 49) chama de “vigilância epistemológica” a preocupação que se deve ter com a correspondência entre os dois saberes.

A quebra de correspondência é frequentemente operada pelos livros didáticos que afastam os conceitos científicos das suas redes conceituais históricas, ocultando, assim, os problemas originais dos cientistas (Astolfi e Develay, 2002, p.48) e enquadrando o saber sábio numa moldura empírico-matemática supostamente neutra. Rumelhard definiu como *dogmática* esta forma de transposição que contribui para reforçar a posição epistemológica ligada “ao imperialismo factual da observação” (Rumelhard *apud* Astolfi e Develay, 2002, p.49).

Além de empobrecer o sentido da Física, a *descontextualização dogmática* possui um efeito direto sobre a significação específica do conteúdo a que está relacionada. Afinal, um conhecimento descontextualizado de modo dogmático é aquele que foi separado dos outros conceitos e problemas com que se relacionava e isolado numa configuração escolar que artificializa problemas e redes conceituais.

A proposta deste trabalho é identificar possíveis nuances de dogmatização na apresentação da lei de Coulomb pelos mais expressivos livros didáticos brasileiros do Ensino Médio. É preciso, porém, antes que se inicie a análise dos manuais, construir uma narrativa sobre a história das investigações desenvolvidas por Coulomb: só a partir de uma versão contextualizada é possível, por oposição, identificar a dogmatização didática. O texto histórico que servirá de contraponto aos livros didáticos ficará, aqui, limitado à identificação do problema central do cientista: o que Coulomb pretendia ao realizar experimentos com bolinhas eletrizadas e balanças?

## 2. UMA VERSÃO HISTÓRICA DA FORMULAÇÃO DA LEI DE COULOMB

### 2.1. A medição

O resultado das experiências de Coulomb em eletrostática, apresentado entre 1785 e 1787 à Academia Francesa de Ciências, pode ser assim sintetizado: a força entre dois corpos eletrizados varia na razão direta da densidade de fluido elétrico dos corpos e na razão inversa do quadrado da distância que os separa (Coulomb, 1884, p.146).

Para chegar a esta conclusão, Coulomb utilizou duas balanças: a de torção, para medir forças repulsivas e a de oscilação, para as forças atrativas. Há um problema histórico, porém, associado a esta pesquisa experimental: nenhum dos contemporâneos de Coulomb foi bem sucedido ao tentar reproduzi-la (Heering, 1992, p. 988).

Em parte graças a este insucesso coletivo, a aceitação das idéias coulombianas foi vagarosa e conflituada; sua vitória final deve ser interpretada como consequência da difusão das idéias iluministas da *nova física francesa* já que, “tomados por si sós os resultados dos experimentos com a balança de torção não eram convincentes” (Heilbron, 1999, p. 476).

### 2.2. A réplica do experimento

Para investigar a variação da força eletrostática com  $1/r$  tal como Coulomb havia proposto, uma réplica da balança de torção foi construída na década de noventa por Heering (1992, 1994) na Universidade de Oldenburg. Durante seis meses de trabalho diário não foi possível encontrar o índice 2; este só se manifestou quando um aparato não previsto originalmente foi adicionado ao experimento: uma gaiola de Faraday capaz neutralizar a eletrização do experimentador.

Assim, diante da impossibilidade de se conseguir resultados compatíveis com o inverso do quadrado da distância ao se realizar o experimento *tal como planejado por Coulomb* como explicar os resultados apresentado à academia francesa?

Embora não se possa saber com certeza como os resultados foram realmente obtidos, para Heering (1992, p. 993) parece bastante plausível que Coulomb tenha formulado a lei do inverso do quadrado da distância principalmente a partir de considerações teóricas. A analogia com a lei gravitacional teria sido muito mais decisiva neste processo do que as questionáveis três medidas obtidas por Coulomb com a balança de torção.

A importância do paradigma gravitacional newtoniano pode ser percebida também no funcionamento da balança de oscilação, que é composta por uma pequena placa e um grande globo, ambos eletrizados. Para chegar aos resultados apresentados à academia, Coulomb teve que considerar os dois corpos como pontuais: a placa, por razões geométricas (dimensões desprezíveis em relação à distância que a separava do globo), e o globo, porque todo o fluido elétrico da esfera foi pensado como estando reunido em seu centro (numa referência clara à proposição 71 do livro 1 do *Principia*).

O método das oscilações, portanto, requer que as forças elétricas microscópicas (as forças que cada ponto da superfície do globo exerce sobre a placa) sejam do tipo  $1/r^2$ , caso contrário, a proposição 71 não se aplica, e a esfera não pode ser considerada pontual. Assim, para medir os efeitos macroscópicos da força, Coulomb está *postulando*, de antemão, que as forças microscópicas variam com o inverso do quadrado da distância. Desta forma, ele fundamenta este método no grande “triunfo da teoria newtoniana da gravitação”: computar forças macroscópicas através da soma de forças microscópicas (Heilbron, 1999, p.6).

### 2.3. A medida imaginária

Mais um forte indício da importância do paradigma newtoniano gravitacional na obra de Coulomb refere-se à determinação da proporcionalidade direta da força elétrica com a quantidade do fluido elétrico exce-

dente dos corpos: Coulomb nunca procurou provar a proporcionalidade direta e jamais descreveu qualquer experimento que pudesse estabelecer a dependência da força com a quantidade de carga das esferas (Hammon apud Heering, 1992, p. 993).

Isto não pode ser considerado um lapso; a forma como a lei fundamental do magnetismo foi apresentada, no *mémoire* de 1787, sugere que Coulomb não considerava necessário formular qualquer prova referente à proporcionalidade com a densidade do fluido (Gillmor, 1971, p.191; Assis, 1998, p. 299):

O fluido magnético age por atração ou repulsão, segundo a razão direta da densidade do fluido e a razão inversa do quadrado das distâncias de suas moléculas. *A primeira parte desta proposição não precisa ser provada.* (Coulomb, 1884, p. 130)

O problema central que Coulomb se propôs a resolver, a determinação das relações quantitativas associadas à eletricidade e ao magnetismo, só pode, enfim, ser pensado no interior da teia conceitual newtoniana. Este problema, numa perspectiva histórica, pode ser interpretado como: estabelecer (quantitativamente) a eletricidade e o magnetismo em termos de forças newtonianas atrativas e repulsivas.

### 3. O LIVRO DIDÁTICO EM FOCO

Foram selecionados pela pesquisa três livros de expressiva circulação nacional para a análise: 1) *Os Fundamentos da Física*, de Ramalho, Nicolau e Toledo (1998); 2) *Física*, de Luiz Alberto e M. Fonte Boa (2001) e 3) *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2002). Estes livros serão tratados, respectivamente, pelos números **1**, **2** e **3**.

As perguntas a) e b) foram feitas a cada um dos livros didáticos. Elas fazem referência às noções mais claramente newtonianas do trabalho de Coulomb (a definição dos corpos eletrizados como pontuais e o estabelecimento das relações de proporcionalidade) e, assim, resgatam o problema central do cientista, tal como definido pela versão histórica aqui apresentada.

#### **a) Com base em que critérios os corpos carregados são definidos como pontuais?**

Os três livros estabelecem critérios geométricos para a definição das cargas como pontuais: as dimensões dos corpos carregados são caracterizadas como desprezíveis em relação à distância que os separa. O método de oscilações em nenhum momento é mencionado. Com este enfoque didático incompleto deixa de ser mencionado o fato de que, em suas medições, Coulomb está reproduzindo a idéia newtoniana de calcular forças macroscópicas através do somatório de forças microscópicas.

#### **b) Como são apresentadas as relações de proporcionalidade entre os termos da equação?**

No livro **3**, uma análise detalhada sobre as relações de proporcionalidade entre  $F$ ,  $q$  e  $r^2$  procura relacionar a modelagem matemática da equação à experimentação realizada por Coulomb.

O que a narrativa histórica aqui construída sugere, porém, é que a modelagem da eletrostática em um discurso matemático representou, neste caso, muito mais a elaboração de uma analogia, do que a codificação *neutra* de certos aspectos empíricos observados pelo cientista.

Afinal, a versão contextualizada permite que se afirme que, na formulação original de Coulomb, foram modeladas matematicamente tanto uma pequena e questionável dose de *observação empírica* referendada pelo referencial newtoniano (proporção inversa com o quadrado da distância), quanto a analogia direta com a força gravitacional sem qualquer *medição empírica* (proporção direta com a grandeza das cargas). O livro **2** explora a relação entre os termos da equação, enunciando a lei na sua forma verbal e construindo exemplos numéricos para exemplificar o que significam as relações de proporção.

A afirmação de que Coulomb mediu proporção direta aparece no livro **2**, só que de modo implícito: os

autores afirmam que Coulomb “conseguiu medir a força elétrica entre dois pequenos corpos carregados” (p. 9). Ora, se a força elétrica inclui proporção direta e proporção inversa, fica entendido que o cientista mediu tanto uma quanto outra.

O livro 1, ao afirmar que a influência da distância e o valor das cargas foi determinada experimentalmente pelo físico francês através da balança de torção, incorre no mesmo equívoco que 3, ao sugerir que a proporção direta com as cargas foi determinada através de medições. Mas o livro 1 vai além e apresenta (p. 25) um desenho da balança de torção acompanhado por uma descrição (idealizada, naturalmente) de como foi medida a proporção direta.

Os três livros (1 principalmente) estão descontextualizados de forma dogmática no seguinte sentido: proporção inversa e, principalmente proporção direta não são remetidas à analogia newtoniana; assim, se recai no que Astolfi e Develay (2002, p. 51) chamam de “imperialismo factual da observação”.

#### 4. ALGUMAS CONCLUSÕES

Esta forma escolar dogmatizada de transposição do saber (a balança de torção como instrumento a-histórico para se alcançar aquela que seria a *verdade científica*), comum aos três livros, contribui não apenas para *enclausurar* o sentido da lei de Coulomb no binômio empiria/codificação matemática, mas também para divulgar uma imagem empobrecida da ciência.

Afinal, desde a década de 30 a “Nova Filosofia da Ciência”, movimento de oposição ao positivismo lógico iniciado por Popper e seguido por filósofos como Lakatos, Kuhn e Feyerabend (Chalmers, 1982), vem apontando o embricamento teoria/observação e, assim, desacreditando o indutivismo ingênuo que deriva teorias ditas verdadeiras diretamente de fatos supostamente neutros.

Como a *dogmatização eletrostática* pôde ser observada em livros que têm diferentes posturas em relação ao conhecimento escolar, é possível pensá-la como uma questão que ultrapassa a autoria dos manuais: o eixo da discussão pode, portanto, ser deslocado para a *noosfera*, o âmbito de decisões localizado na confluência entre o sistema escolar *stricto sensu* (professores, alunos e saber) e o seu entorno, a sociedade laica (pais, especialistas, emissários do poder político) (Chevallard, 1998, p. 28).

Mas em que ponto da *noosfera* a *dogmatização eletrostática* pode ser localizada?

Neste caso específico, o processo de divulgação do saber sábio parece ter sido bastante influente. Os livros 1, 2 e 3 afirmam que Coulomb mediu a proporção direta, o que é equivocado, mas o próprio Coulomb (1884, p. 146), ainda que não tenha realizado a medição, enuncia esta proporcionalidade em seu segundo *mémoire* como resultado das suas pesquisas.

O papel central atribuído aos métodos de medição empregados por Coulomb também parece remontar à apresentação dos *mémoires* na academia francesa: a balança de torção foi realmente valorizada na época, chegando mesmo a ser premiada. Isto indica que, ao menos de modo explícito, não era concebível que a adesão ao paradigma newtoniano turvasse a pureza de dados coletados num procedimento de experimentação; mais do que isso, estavam associados a este mesmo paradigma certos padrões de neutralidade científica.

O trabalho feito pelo historiador da ciência, de confrontar o que Coulomb disse que fez com o que efetivamente foi realizado, é muito importante para a superação desta descontextualização produzida quase que *colada* com o saber sábio.

Enfim, gostaríamos de apontar que a grande riqueza da ciência pode ser encontrada justamente na sua par-

tipificação numa esfera mais ampla de produção cultural da existência, e é importante, para que a física não fique à deriva num “mar de falta de significação” (Novak *apud* Matthews, 1994, p.7) que algumas das conexões históricas do conhecimento sejam exploradas em sala de aula. Não estamos, com isso, é importante frisar, negando a especificidade da ciência, sua singularidade que é poder traduzir e expressar uma certa *concretude* física do mundo. Uma concretude que admite muitas formas de modelagem (cada qual com conexões históricas específicas), mas *não* qualquer modelagem: ciência não é aqui considerada criação livre, e sim construção sobre materialidade física.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, A. K. (1998). *Mecânica Relacional*. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência.
- ASTOLFI, J.-P. e DEVELAY, M. (2002). *A didática das Ciências*. 7 ed. Campinas: Papirus.
- CHALMERS, Alan (1982). *What is this Thing Called Science?* 3ed. Cambridge: Hackett Publishing,.
- CHEVALLARD, Y. (1998). *La Transposición didáctica*. Buenos Aires: Aique,.
- COULOMB, C. A. (1884). *Collection des Mémoires Relatifs à la Physique, publiés par la Société Française de Physique*. Paris: Gauthier-Villars.
- GILLMOR, C. S. (1971) *Coulomb and the Evolution of Physics and Engineering in eighteenth-century France*. Princeton: Princeton University Press,.
- GUIMARÃES, L. A. & FONTE BOA, M. (2001). *Física*. Niterói: Futura.
- HEERING, P. (1994) The Replication of the Torsion Balance Experiment: the Inverse Square Law and its Refutation by Early 19th Century German Physicists. In: Blodel, C. e Dörries, M. (eds.). *Restaging Coulomb: Usages, Controverses et Répliques autour de la Balance de Torsion*. Florença: Leo S. Olschki, pp. 47-66.
- \_\_\_\_\_. (1992) “On Coulomb’s Inverse Square Law”. *American Journal of Physics*, vol. 60 (11), pp.988-994,.
- HEILBRON, J. (1999). *Electricity in the 17th and 18th Centuries: a Study in Early Modern Physics*. Nova York: Dover,.
- MATTHEWS, M. (1994). *Science teaching: the Role of History and Philosophy of Science*. Nova York: Routledge.
- MÁXIMO, A. e ALVARENGA, B. (2002). *Curso de Física*. 5ed. São Paulo: Scipione,.
- NEWTON, I. (1999). *The Principia*. Berkeley: University of California Press,.
- RAMALHO, F. et alli. (1998) *Os Fundamentos da Física: Eletricidade*. São Paulo: Moderna.