

João Rui Pita

Coordenação



iência e Experiência

Formação de Médicos,
Boticários, Naturalistas e Matemáticos

Isabel M. Malaquias

Departamento de Física • Universidade de Aveiro

A FÍSICA NOS FINAIS DO SÉCULO XVIII

Referirmo-nos à Física nos finais do séc. XVIII implica alguma reflexão sobre o que designamos por este termo. A palavra usada por Aristóteles, na antiguidade, significava o estudo da Natureza, no sentido de se entender qual a evolução de um qualquer ser e o modo como normalmente se comportava. Aristóteles interpretava o mundo como se todas as coisas fossem vivas, pelo que o objecto da sua inquirição era encontrar a natureza de tudo — desde porque é que as pedras caem até porque é que alguns homens são escravos. Verificou-se ser pouco adequada a utilização deste método ao universo físico, como acabou por se verificar mais tarde. Em *A Física e Sobre os Céus* deixou-nos a sua interpretação relativa à estrutura do universo, que foi transmitida para a posteridade, e se revelou ser particularmente infeliz para o progresso da Física.

No início do séc. XVII, entendia-se por Física uma ciência qualitativa, livresca, que se debruçava, em geral, sobre os corpos naturais. Possuía assim um carácter mais amplo, e ao mesmo tempo, mais estreito que aquele que lhe atribuímos agora. Mais amplo em extensão, na medida em que englobava os fenómenos orgânicos, psicológicos e inorgânicos. Mais estreito, porque nos seus métodos não recomendava nem a matemática nem a experiência. Era ainda uma ciência fortemente influenciada por Aristóteles e os seus praticantes eram, por assim dizer, filósofos profissionais ou físicos principiantes que, na prática da medicina, buscavam o pré-fermento da ciência

moderna. Os autores dos livros de texto eram essencialmente pedagogos que procuravam apresentar os fenômenos da melhor maneira, mas que não buscavam introduzir novidades sobre os temas em questão.

As matérias quantificadas da ciência física situavam-se, no séc. XVII, não na Física, mas no que poderíamos designar por Matemática Aplicada, que integrava a astronomia, a óptica, a estática, a hidráulica, a gnomónica, a geografia, a horologia, a fortificação, a navegação e a agrimensura. Na época, a Matemática Aplicada era olhada com algum desprezo pelos filósofos, que a consideravam assunto de mecânicos (comerciantes, marinheiros, agrimensores, etc.) e não tema acadêmico.

Nas escolas jesuítas, a matemática era ensinada, e bem ensinada, mas somente na língua materna, enquanto que o curso de filosofia era falado e escrito em latim. A existência de termos técnicos, muitos dos quais associados à fortificação criavam obstáculo à utilização do latim como veículo do ensino da matemática. Refere-se que Descartes, tido como o maior matemático treinado pelos jesuítas, considerava a matemática particularmente útil nas artes mecânicas. O surgimento da Física quantificada veio implicar um forte reajustamento das suas áreas de conhecimento, bem como, e em termos antigos, uma descida de estatuto, ao aproximar-se da Matemática Aplicada.

A Física continuou a ser entendida na sua extensão aristotélica ao longo do séc. XVII.

«Mestre de filosofia – É a física que quereis aprender?»

Jourdain – E o que é que canta essa física?

Mestre de filosofia – É a física que explica os princípios das coisas naturais e as propriedades dos corpos; que discorre da natureza dos elementos, dos metais, dos minerais, das pedras, das plantas e dos animais, e nos ensina as causas de todos os meteoros, o arco-íris, os fogos-fátuos, os cometas, os relâmpagos, os raios, a chuva, a neve, o granizo, os ventos e os turbilhões.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Molière: *Le bourgeois gentilhomme*, Acte II, Scène IV, Hatier, Paris, 1981, p. 32.

A adopção do significado moderno de Física não surgiu abruptamente, tendo-se verificado que a palavra continuou a ser utilizada em sentido antigo, mesmo quando havia já redefinições mais especializadas. Assim, e introduzindo-nos na *Recreação Filozofica* de Teodoro de Almeida⁽²⁾ (1758), encontramos a explicação de Teodósio (adepto dos Modernos):

«Fizica, ou Filozofia Natural é uma Ciencia, que trata de todas as coizas naturaes, dando a razaõ, e apontando a causa de todos os efeitos ordinarios, e extraordinarios, que vemos com os nosos olhos. Trata dos Ceos, dos Astros, e dos Meteoros: declara qual seja a cauza das chuvas, e dos ventos, a origem das marés, e das fontes: trata de cada um dos elementos, e das suas propriedades: em fim tudo, quanto temos na terra, é objecto desta Ciencia, merecendo-lhe especial atensaõ as plantas, os brutos, e o omem com tudo o que serve aos seus sentidos; como saõ a lús, que nos alumia, as cores, que nos alegraõ, os sons, que nos divertem, o cheiro, e sabores, que nos recreaõ, e o movimento de muitas coizas, que tanto admiramos &c.»

Se folhearmos o *Journal de Physique*, fundado em 1773, pelo Abbé Rozier, encontramos nele artigos de história natural e agricultura, bem de acordo com a sua designação completa *Observations sur la Physique, sur l'Histoire Naturel et les Arts*. No entanto, o mesmo periódico possuía uma secção de Física, em sentido moderno, onde se publicaram artigos sobre mecânica, electricidade, magnetismo e geofísica. Também as sociedades ou academias científicas utilizaram, ambivalentemente, a designação. A Academia de Ciências de Paris, por exemplo, teve, durante muito tempo, duas classes — a de Matemática e a de Física. Na primeira, estava a geometria, a astronomia e a mecânica, enquanto que na segunda se incluía a anatomia, a biologia e a química. Só em 1785 se criaram, nesta Academia, duas novas sub-classes — a de Física Experimental (na sua moderna acepção) e a de História

⁽²⁾ Almeida, Teodoro: *Recreação Filozofica, ou Dialogo Sobre a Filozofia Natural, para instrução de pessoas curiosas, que não frequentáraõ as aulas*, Tomo I, Oficina de Miguel Rodrigues, MDCCLVIII.

Natural/Mineralogia. Poder-se-iam encontrar exemplos idênticos em outras prestigiadas academias da época.

24

Considera-se que o principal agente na mudança de objecto da Física foi a demonstração experimental. Os novos instrumentos do séc. XVII, muito particularmente a máquina pneumática, inventada, desenvolvida e apreciada fora da universidade, começaram a fazer, lentamente, o seu caminho para as escolas, no início do séc. XVIII. Ao tecer considerações sobre a natureza do ar, o então professor de física actualizado não somente falava, mas mostrava, qual o peso deste ou como se comportavam seres vivos dentro da campânula progressivamente rarefeita. Sendo excelentes pedagogos, viram a vantagem de ilustrar outros conceitos, mais gerais: — o bater de uma pêndula, a composição de forças, a conservação do momento nas colisões, os princípios da óptica geométrica, a utilização da pedra íman. Podemos afirmar que o reportório completo de experiências pertencia à Física, em sentido moderno. Heilbron⁽³⁾ admite três razões principais para este acontecimento. Por um lado, o facto de as ciências biológicas não se prestarem imediatamente às demonstrações experimentais. Por outro, o já existente comércio de instrumentos, que produzia globos, telescópios, instrumentos matemáticos com relativa facilidade, pôde ampliar o seu campo de produção para as máquinas necessárias ao professor de física experimental. Em último lugar, considera que os primeiros adeptos de Newton, ingleses e holandeses, contribuíram fortemente para este estreitamento de percurso da filosofia natural. Heilbron refere ainda que a comparação entre os títulos da maior obra de Newton — os *Mathematical Principles of Natural Philosophy* (1687) — e o da principal obra de Descartes — *Principles of Philosophy* (1644) — reflecte a distância que Newton pretendeu acentuar entre a sua concepção e a de Descartes, que tinha actualizado a física tradicional de um modo qualitativo. Newton, pelo contrário, dedicou-se à aplicação das

⁽³⁾ Heilbron, J. L.: *Elements of early modern physics*, University of California Press, Berkeley, L.A., London, 1982.

leis matemáticas do movimento a alguns problemas da mecânica e da astronomia física.

John Keill (1671-1721) foi provavelmente o primeiro professor em Oxford a ilustrar o seu curso de filosofia natural com experiências, seguindo-se-lhe um dos seus associados, J. T. Desaguliers (1683-1744), que se tornou o expoente britânico da nova física experimental.

Na Holanda, os que mais se distinguiram na redefinição da Física foram W. J. 's Gravesande (1688-1742) e Pieter van Musschenbroek (1692-1761), cujas carreiras académicas decorreram entre 1717 e 1761. Ambos partilharam do gosto pelas novas correntes inglesas da filosofia natural.

Os Franceses, depois de atacarem 's Gravesande por este preferir as experiências inventadas às «observações simples, *naive*» e por considerar que não havia física senão a de Newton, tentaram ignorá-lo ao que se opôs Voltaire que chegou a ir visitá-lo a Leiden.

Em meados do séc. XVIII, ingleses e franceses produziam textos à maneira holandesa. Desaguliers escreveu um elaborado *Course of Experimental Philosophy* (1734-44) que não abarcava muito mais que a mecânica. J. A. Nollet (1700-1770) publicou, a partir de 1743, as suas *Leçons de Physique*, em seis volumes, que contemplavam a mecânica, a hidrostática e a hidrodinâmica, as máquinas simples, a pneumática e o som, a água e o fogo (do ponto de vista físico), a luz, a electricidade, o magnetismo e a astronomia elementar. Conforme comentários da época: «*À parte alguns princípios gerais, o estudo inteiro da física reduz-se hoje ao estudo da física experimental*»; «*A verdadeira física é a ciência dos Newtons e Boyles; avança-se somente com o bastão da experiência nas mãos, a verdadeira física tornou-se física experimental.*»⁽⁴⁾

A utilização da matemática contribuiu também para a especialização da física. Todos os escritores da era moderna advogaram o seu uso nesta última. 's Gravesande foi tão longe que colocou a filosofia natural entre os

⁽⁴⁾ *Idem* nota anterior.

ramos da matemática mista, porque a física, dizia, desce à comparação dos movimentos e o movimento é uma quantidade. «*Na Física estamos a descobrir as leis da Natureza pelos Fenómenos, depois pela Indução provamo-las como Leis gerais; tudo o resto é trabalhado matematicamente.*»⁽⁵⁾ Musschenbroek e Desaguliers abordam o mesmo tema, e mesmo Nollet, embora este último o faça sem recorrer a equações. De facto, a natureza do seu público original — estudantes universitários com pouca matemática e um público anónimo sem nenhuma — impediam provas elaboradas ou deduções geométricas. Por outro lado, mesmo os melhores livros não usavam o cálculo; as experiências que referem, foram concebidas não para a análise quantitativa, mas para ajudar, convencer e divertir os estudantes que não conseguiam seguir as demonstrações matemáticas.

A par com a expectativa de que a física deveria ser matematizada, houve redefinição na fronteira tradicional entre filosofia natural e matemática aplicada. Os newtonianos holandeses reclamaram para a primeira a óptica, a mecânica, a hidrostática, a hidrodinâmica, a acústica e mesmo a astronomia planetária. Por volta de 1750, estes assuntos eram reconhecidos como constituindo uma fronteira especial, ou como diríamos hoje, interdisciplinar. Formavam o grupo das ciências *físico-matemáticas* ou *física-matemática*. A importância atribuída à hipsometria barométrica e o desenvolvimento desta durante este século ilustram, por sua vez, a migração desta área do saber da matemática aplicada para a física experimental, onde permanecerá também no século seguinte⁽⁶⁾. A física reteve ainda das ciências físicas originais, a meteorologia, a mineralogia e a química. Em meados do século, a *física-matemática* abarcava também o calor, a electricidade, o magnetismo e, cada vez mais, a dinâmica analítica.

⁽⁵⁾ 's Gravesande, *Math. Elem.* (1731) – citado a partir de Heilbron, *op.cit.*

⁽⁶⁾ Feldman, Theodore S. (1990): «Applied mathematics and the quantification of experimental physics: the example of barometric hypsometry», *British Journal for the History of Science*, vol. 76, 127-196.

É notável que se tenha encontrado por fim o ideal da física, muito embora se possam reconhecer poucos exemplos de quem tenha conseguido, durante o séc. XVIII, conjugar adequadamente o lado da experimentação com o da matemática.

Dado que a electricidade foi sempre considerada uma ciência física, o seu lugar no corpo de conhecimento e o seu tratamento variaram com o destino da física como um todo. Tal como outras áreas experimentais do séc. XVII, a electricidade provou-se mais difícil de quantificar que os assuntos tradicionais da física-matemática.

Por volta de 1800, a quantificação da electrostática, do magnetismo e da calorimetria tinha feito grandes progressos, a que se viria juntar posteriormente a óptica física. O tempo desta quantificação não deveu nada ao progresso da própria matemática, pois não é senão no séc. XIX que a física irá recorrer a técnicas matemáticas de que se não dispunha completamente cem anos antes. A quantificação da electricidade e dos fenómenos simples do calor aguardaram primeiramente o elevar de padrões de trabalho em física e, em segundo lugar, o melhoramento, a exactidão e a fidelidade dos instrumentos.

A redução dos dados experimentais a lei, ou a dedução da lei a partir dos primeiros princípios, é normalmente considerada domínio da física-matemática ou teórica. Neste ponto, os físicos da segunda metade do séc. XVIII avançaram sobre os seus predecessores somente em casos isolados. Mas, no que respeita a precisão da medida, que constitui a base da física quantitativa, ocorreram grandes mudanças na última parte do século. São representativas disso as medidas de tensão superficial de F. K. Achard (1753-1821), feitas, em Berlim, sem referência explícita à teoria matemática da capilaridade. Trabalhos semelhantes ocuparam grande parte da vida do francês M. J. Brisson (1723-1806), que, em 1787, forneceu tabelas de pesos específicos com vários algarismos significativos, *«nunca introduzindo qualquer resultado como exacto (leia-se preciso) até que os resultados de várias medições repetidas mostrassem não diferença, ou diferenças suficientemente*

pequenas para serem desprezadas.»⁽⁷⁾ A atenção de Brisson relativamente ao detalhe quantitativo, às precauções a serem tomadas, à fidelidade dos instrumentos, é em si um bom indicador da distância que separa a sua geração de experimentalistas da precedente. Brisson aprendera a física de Nollet cuja principal preocupação era, na época, o muito cuidado na produção de resultados, mais do que a medição de qualquer coisa.

J. H. van Swinden (1746-1823), na Holanda, recomendava atenção à observação precisa, constituindo-se em exemplo heróico, pois, durante dez anos, fez medições da variação magnética, em cada hora de cada dia. Outra referência é devida ao suíço J. A. Deluc (1727-1817), que se preocupou em construir instrumentos que dessem resultados quantitativos fiáveis e comparáveis. Reconhecendo em Brisson uma alma gémea, Deluc ocupou-o durante oito meses na calibração de um dos seus termómetros comparativamente ao último dos instrumentos sobreviventes de Réaumur (1683-1757). Com o seu compatriota H. B. Saussure (1740-1799), Deluc gostava de discorrer acerca das correcções a ser aplicadas às leituras dos higrómetros, na terceira e quarta casas decimais. Ambos partilharam com o público esta sua paixão, através de livros onde abordaram os erros em barómetros, higrómetros e termómetros⁽⁸⁾.

A ênfase na precisão das medidas físicas beneficiou e contribuiu para o erguer do padrão de trabalho científico no final do séc. XVIII. Esta elevação pode também ser apreciada a partir do sucesso obtido pelo *Journal de Physique*, onde se publicaram vários artigos sobre este tema. Este periódico encorajou o surgimento de outros, mais especializados (veja-se por exemplo o caso dos *Annales de Chimie et de Physique* (1789) ou o *Journal der Physik* (1790)) que se anunciavam como internacionais, rápidos, úteis, baratos e

⁽⁷⁾ Brisson: *Pesanteur*, 1787 – citado a partir da nota 3.

⁽⁸⁾ Saussure, Horace-Bénédict de: *Essais sur l'hygrométrie*, Neuchâtel, S. Fauche, 1783. – : *Défence de l'hygrometre à cheveu, pour servir de supplément aux Essais sur l'hygrométrie*, Genève, Barde, Manget et Compagnie, 1788; De Luc, Jean André: *Recherches sur les modifications de l'atmosphère*, Genève, 1^{re} éd., 1772, 2 vol.; 2^e éd., Paris, Duchesne, 1784, 4 vol.

mesmo precisos, aos quais poderiam ser submetidos artigos originais ou resumos de memórias acadêmicas.

Os instrumentos científicos melhorados foram a causa material e plena expressão dos padrões de qualidade crescente da física no final do séc. XVIII. Depois de 1780, quer a qualidade quer a quantidade de instrumentos físicos, comercialmente disponíveis, aumentou significativamente. Assim, regista-se que o número de oficinas inglesas novas, produtoras de instrumentos matemáticos, ópticos e/ou filosóficos, manteve-se em 25-30, por década, entre 1720 e 1780, tendo ultrapassado as 48, nas duas décadas seguintes⁽⁹⁾. Por outro lado, na primeira metade do século, as oficinas eram compostas pelo proprietário e alguns ajudantes, tendo-se verificado, a partir de 1750, o crescimento prodigioso dos estabelecimentos londrinos, que, em alguns casos, atingiram a dimensão de mais de cinquenta artistas, nas lojas mais conceituadas.

Os artífices ingleses forneceram instrumentos científicos não só para a Grã-Bretanha, como dominaram a maior parte do comércio europeu. Apesar da influência dos livros de 's Gravesande e de Pieter van Musschenbroek no progresso das demonstrações experimentais, e também da nomeada de Jan van Musschenbroek (1687-1748) ou Jan Paauw (c.1723-1803), enquanto artífices, o comércio de instrumentos científicos holandês não se projectou muito para o exterior⁽¹⁰⁾.

Em França, Nollet supervisionou o fabrico de instrumentos que eram talvez iguais aos de Jan van Musschenbroek e de Desaguliers, mas teve dificuldades em encontrar trabalhadores competentes, o que se agravou com o seu sucessor, Sigaud de Lafond (1730-1810). O desenvolvimento da indústria francesa de instrumentos científicos ressentiu-se das fortes res-

⁽⁹⁾ Heilbron, *op. cit.*

⁽¹⁰⁾ Registam-se algumas vendas de instrumentos para o eleitor da Saxónia, Suécia, Rússia, Pádua e Bolonha – Declerq, Peter: *At the sign of the Oriental Lamp – The Musschenbroek workshop in Leiden, 1660-1750*, Erasmus Publishing, Rotterdam, 1997.

trições corporativistas em vigor. Só a partir de 1780, se começou a alterar este panorama, destacando-se as oficinas dos Mégnié, a de E. Lenoir (1744-1832) e a de Fortin (1750-1831) cujos instrumentos de precisão adquiriram nomeada. Foram feitos instrumentos para Lavoisier e para a Academia de Ciências de Paris e, com a Revolução, quer Lenoir quer Fortin contribuíram para a actividade dos novos organismos criados — a Comissão de Pesos e Medidas e a Comissão temporária das Artes⁽¹¹⁾.

No comércio geral de instrumentos e na segunda metade do séc. XVIII, podemos distinguir três espécies de instrumentos. Em primeiro lugar, os instrumentos de demonstração, necessários em quantidade avultada, por forma a poderem integrar os gabinetes de física de mecenas, bem como as palestras dos mestres de filosofia natural. Poucas colecções foram reunidas antes de 1750, que contivessem um número avultado de aparelhos de demonstração. A grande procura começou depois de 1750. Destacam-se as colecções de George III e de Lord Bute, em Inglaterra, a de Louis XVI, do Duque de Chaulnes ou do Duque de Orleães, em França, a do Grão-Duque de Toscana, que inspiraram os construtores de instrumentos. Surgiram então vários pequenos gabinetes (de 25 a 75 peças), bem como grandes (com 250 a 350 peças). Também as escolas, os colégios, as academias e as universidades começaram a estabelecer ou a aumentar colecções, bem como a subsidiar os seus professores para a compra de instrumentos. O físico J.A. Charles (1746-1823), possuidor da melhor e mais ampla colecção francesa de instrumentos de demonstração (cerca de 330 itens), referindo-se aos instrumentos de Nollet, por volta de 1790, afirmava: *«Encontra-se neles não a elegância de forma, nem a beleza do trabalho do homem, mas antes a precisão severa que caracteriza as mais modernas máquinas.»*⁽¹²⁾

⁽¹¹⁾ Daumas, Maurice: *Les Instruments Scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles*, Presses Universitaires de France, Paris, 1953.

⁽¹²⁾ Heilbron, *op. cit.*

A escala de medição foi, por assim dizer, o segundo instrumento que melhorou substancialmente na segunda metade do século. Aqui o avanço em qualidade pode em si mesmo ser apreciado. Provavelmente o divisor de escalas mais conhecido foi a máquina de Ramsden (1773), que podia dividir precisamente um arco em intervalos de 10 segundos, quando as divisões padrão dos sectores eram, em 1700 e em 1750, respectivamente, de 10 minutos e 5 minutos. O aumento da precisão, que dependeu dos melhoramentos introduzidos nos tornos mecânicos, no fabrico de vidro e no trabalho do metal, estendeu-se também à medição de quantidades físicas. Na segunda metade do séc. XVIII, produziram-se vários aperfeiçoamentos em barómetros e agulhas magnéticas, obtiveram-se termómetros padronizados e higrómetros, bem como um novo instrumento, o electrómetro (cerca de 1750).

O progresso da teoria, o melhoramento da técnica e, sobretudo, a necessidade de padronizar a medida, implicaram uma forte demanda por instrumentos fiáveis. Em 1783, van Swinden encorajava Deluc a fazer pela electricidade o que ele tinha feito pela atmosfera, pois *«embora a electricidade tenha sido tratada por muito grandes físicos, ainda não foi considerada com a precisão que os físicos que se preocupam com a precisão matemática gostariam»*⁽¹³⁾. No caso da electricidade, outros tinham desenvolvido os instrumentos que existiam por volta de 1785. Estes, por sua vez, reagiram à teoria, confirmando, simultâneamente, a relação entre a carga Q , a capacidade C e a «tensão» T de um condutor electrificado⁽¹⁴⁾.

O terceiro tipo de instrumentos é representado pela bomba pneumática e pela máquina eléctrica com seus utensílios. Estes instrumentos, encontrados em qualquer gabinete respeitável de final de séc. XVIII, podiam ser usados quer para a investigação quer para a demonstração. Após 1750, a importância destas duas máquinas aumentou consideravelmente.

⁽¹³⁾ Cartas de van Swinden a De Luc, de 16.05.1783 e de 23.04.1784, citadas em Heilbron.

⁽¹⁴⁾ $Q = CT$

A bomba pneumática, habitual em meados do século, construída de acordo com os esquemas de Hauksbee (c. 1700-20), 's Gravesande e Musschenbroek, atingia provavelmente $1/40$ de atmosfera (atm). Mais ou menos na mesma época, Smeaton (w. 1750-1792) obteve uma exaustão de cerca de $1/80$ atm, molhando os acessórios de couro da sua bomba numa mistura de álcool e água. Na década de 70, em França, uma máquina pneumática comum atingia $1/165$ atm, enquanto que uma inglesa, construída por Nairne (1726-1806) e com melhoramentos, produzia um vazio situado entre $1/300$ e $1/600$ atm, operando durante 6 minutos. Estes aperfeiçoamentos permitiram aos físicos debruçar-se sobre a questão de saber se o vazio conduzia ou não.

Relativamente à máquina eléctrica, introduzida pela primeira vez cerca de 1740, esta era capaz de gerar cerca de 10 000 V. A máquina construída por Cuberthson (c.1768-1801) para Martinus van Marum (1750-1827), em Haarlem, produzia, em 1785, cerca de 100 000 V. Possuía um disco de vidro com 65 polegadas de diâmetro e permitia carregar cem garrafas de Leyden (1790). Com esta grande máquina podiam electrocutar-se pequenos animais, fundir vários metros de fio, realizar a electrólise da água, magnetizar agulhas e estudar os efeitos químicos da corrente eléctrica.

A disponibilidade de bons instrumentos de medida permitiu o estabelecimento de relações quantitativas entre parâmetros físicos, para o que se necessitava também da teoria, por forma a obter relações com significado. As teorias do calor e do magnetismo partilham exemplos com a electrostática, no final do século, relativamente ao ajustamento ocorrido entre o progresso nas medições, o refinar da teoria e a quantificação.