

AS LEIS DA NATUREZA NO ENSINO SECUNDÁRIO

Isabel Serra

Universidade de Lisboa (Secção Autónoma de História e Filosofia das Ciências da Faculdade de Ciências e Centro de Filosofia das Ciências)

INTRODUÇÃO

A expressão “leis da natureza” fazia parte da linguagem da ciência até há cerca de cem anos, mas desde então a linguagem evoluiu e, actualmente, só no contexto da história e da filosofia das ciências tal termo é referido. A evolução da linguagem traduz aliás a grande transformação do pensamento sobre a ciência ocorrida no século passado (Wagner, 2002, pp. 9-65).

Mesmo considerando que, actualmente, a expressão “leis da natureza” é usada apenas como metáfora, a “lei” continua a representar um papel central na ciência. A formulação de uma teoria, e também a das condições de ocorrência de um fenómeno, passam sempre pelo enunciar de resultados gerais, designados genericamente por “leis científicas”. A ideia de “leis da natureza”, apesar de materializada por uma expressão fora de moda, é pois fundamental nas teorias e nas práticas científicas e continua a ser objecto de trabalho em história e filosofia das ciências. Uma das vocações destas áreas de conhecimento é precisamente esclarecer e dar sentido a noções como a de “leis da natureza”. No ensino, a tarefa de esclarecimento baseada na história e na filosofia das ciências assume uma importância particular, dado que pode contribuir decisivamente para a formação científica dos estudantes (Matthews, 1994). Mesmo que, exclusivamente do ponto de vista didáctico, não sejam evidentes as valências da abordagem histórico-filosófica, do ponto de vista epistemológico e cultural elas são inegáveis. Por exemplo, embora não seja indispensável conhecer a história da mecânica para resolver as equações do movimento esse conhecimento pode não só servir de motivação, como também potenciar progressos cognitivos. O mesmo se pode dizer relativamente a outras matérias. (Coelho, 2009, 2010).

Embora actualmente a ambiciosa expressão “leis da natureza” tenha sido substituída por “leis científicas”, bem mais modesta, a mudança não lhe elimina virtudes epistemológicas. As leis continuam a representar o processo de generalização que caracteriza o conhecimento científico, e que é essencial comunicar no ensino das ciências.

No discurso científico, a generalização é materializada não apenas através do enunciado de leis, mas também pelo uso de variados processos, símbolos e termos, como por exemplo, “tabelas”, “gráficos”, “diagramas”, “modelos”, “estruturas”, etc., muitas vezes relacionados com as próprias leis. Esta abundância de instrumentos, usados para ordenar e generalizar os resultados experimentais, assim como para sintetizar e dar corpo aos dados teóricos, é um sintoma da importância do momento de generalização na ciência.

O estudo da história das ciências permite dar relevo a essa procura incessante de generalização que tem caracterizado a prática científica na cultura ocidental. Não podendo a ciência ser vista como um conjunto de dados, de factos e de processos, não deve também ser ensinada como tal, por mais riqueza e diversidade que eles contenham. Nesse sentido, a história e a filosofia das ciências são instrumentos privilegiados na procura e aquisição de significado do grande número de dados que os nossos alunos do secundário são obrigados a apreender.

Ao longo deste texto a expressão “leis da natureza” foi usada sobretudo pelo seu valor simbólico, o de materializar o processo de generalização na ciência, tão importante para situar e dar significado aos conhecimentos que se vão adquirindo ao longo da aprendizagem. As “leis da natureza” são aqui o ponto de partida para o desenvolvimento de algumas considerações acerca do papel da história da ciência e da epistemologia no ensino. Depois de uma pequena síntese em que se pretende caracterizar a importância das leis científicas na história, na filosofia das ciências, e no ensino, as ideias expostas serão concretizadas através de dois exemplos - a mecânica e a teoria atómica - que fazem parte da matéria do 11º ano da disciplina de física e química.

LEIS DA NATUREZA NA HISTÓRIA E NA FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS

A ideia de “lei” acompanha toda a evolução da ciência, desde os seus primórdios até aos nossos dias. São os gregos, para quem a Natureza “constitui uma ordem objectiva e não apenas uma ordem humana” (Lenoble, 1969/1990, pp. 81-86), que iniciam esse trajecto marcado pela procura de uma ordem e de um sentido no universo. Depois, ao longo dos séculos, muitos filósofos pensadores e cientistas se referem à natureza traduzindo o seu pensamento de diversas formas, assumindo posicionamentos religiosos e filosóficos também muito diferentes, mas que convergem na ideia da existência de uma ordem. Alguns autores contemporâneos continuam a trabalhar o problema (Prigogine & Stengers, 1984; Bohm & Peat, 1982/1987) tendo em vista o esclarecimento de aspectos filosóficos da ciência moderna, pertinentes em áreas como os sistemas caóticos e a mecânica quântica.

Desde o Renascimento até aos finais do século XX viveu-se, na ciência, sob a égide de uma confiança crescente na ordem da natureza e na capacidade humana de descobrir as “verdadeiras leis” que a regem (Serra, 1994). Esta afirmação que parece querer sintetizar de forma breve e superficial três séculos de história da ciência, ganha densidade com a referência a alguns nomes fundamentais nessa história e também com o enunciado das características da ciência durante o período em questão. Uma delas, talvez a mais decisiva, foi a progressiva e crescente transformação da física numa ciência matemática dedutiva e abstracta (Koyré, 1939/1986, pp. 88-100). Galileu (1564-1642) com a sua célebre, e frequentemente citada, frase – “a Natureza exprime-se em linguagem matemática” – traduz um pensamento que, no Renascimento, teve um papel determinante na formação das ideias filosóficas. Para o cientista dessa época a matemática era considerado um elemento fundamental na abordagem da natureza (Whitehead, 1956/1988, pp. 391-406) – por exemplo, o heliocentrismo será aceite mais facilmente na forma matemática que lhe deu Kepler (1571-1630), publicada entre 1609 e 1619, apesar de ir muito mais longe na contestação do sistema ptolomaico do que a teoria de Copérnico (1473-1543), publicada em 1543 (Dalmedico & Peiffer, 1986, pp. 33-35).

Outra das concepções que também condiciona o pensamento científico durante o Renascimento, e contribui para valorizar a noção de lei, é a de “harmonia universal”. Essa ideia, essencial na construção das teorias de Kepler sobre o sistema solar e os movimentos dos planetas, foi partilhada por grande parte dos renascentistas italianos, tanto da arte como da ciência, que descobriam “ordem” e “simplicidade” na natureza (Lodge, 1956/1988, pp. 215-229; Holton, 1996/1998, pp. 116-123).

A ideia de que existe uma ordem na natureza está, aliás, subjacente ao pensamento científico desde a Antiguidade até aos nossos dias, mas é no século XVII que essa ideia passa a adquirir uma expressão matemática, através dos instrumentos desenvolvidos pelo cálculo infinitesimal. O estudo do movimento é matematizado por Galileu, Descartes (1596-1650) e Newton (1642-1727), mas também Kepler, Cavalieri (1598-1647), Roberval (1602-1675), Torricelli (1608-1647), Fermat (1601-1665) Pascal (1623-1662) e Leibniz (1646-1716), entre outros, contribuem para o tratamento matemático dos problemas da mecânica (Dalmedico & Peiffer, 1986, pp. 178-198). Nos séculos seguintes, os fenómenos das ciências emergentes, ou seja, da electricidade, do magnetismo, da termodinâmica e da óptica são descritos também matematicamente.

As duas crenças aqui referidas e que caracterizam o pensamento científico moderno – a do poder da matemática e a da ordem e harmonia do universo – manifestam-se ainda actualmente nos textos de alguns cientistas, embora assumindo formas e expressões diferentes das renascentistas.

Um exemplo é o de Roald Hoffman, Prémio Nobel da Química em 1981, que escreveu vários artigos sobre a “beleza molecular”. Em *Molecular Beauty*, Hoffman (1999, pp. 334-340) apresenta algumas estruturas moleculares onde só um especialista seria capaz de encontrar beleza. Hoffman argumenta recorrendo à “harmonia” das moléculas que, para ele, representa a relação entre a sua representação espacial e as suas propriedades químicas.

Também Edward Kasner (1878-1955) e James Newman (1907-1966) usam uma argumentação pouco habitual para caracterizar a invenção matemática e a sua relação com a realidade, ao fazerem associação de matemática e arte (Kasner & Newman, 1940/2001, p. 362).

Na actualidade, alguns cientistas continuam a referir-se à natureza, ou ao real, de uma forma que pode parecer mais própria do Renascimento. Mas, para os filósofos da ciência actuais que trabalham

problemas relativos às “leis da natureza” a temática tem aspectos de grande actualidade. Antes de mais, o trabalho de esclarecimento da noção de lei científica (Lewis, 1973, 1983, 1986; Armstrong, 1978, 1983, 1991). Embora a maior parte dos autores assumam uma posição realista face às leis da Natureza, alguns estudos mais recentes são antirealistas, baseando-se em argumentos epistemológicos (Van Fraassen, 1989, pp. 180-181), ou invocando as origens do uso do conceito de lei na história das ciências (Giere, 1999, pp. 86-90). Muitas outras diferenças existem no tratamento das leis da natureza, para além desta cisão fundamental entre realismo e anti-realismo. Essas diferenças são apresentadas com pormenor e com referência ao pensamento de inúmeros autores em diversos artigos de revisão e de síntese (Carroll, 2006; Swartz, 2009).

O tema das leis da física foi tratado também por alguns cientistas, célebres pela sua sua contribuição para a filosofia das ciências, como Pierre Duhem (1861-1916) que tenta fazer uma ordenação dos conhecimentos da física e uma classificação das suas leis (Duhem, 1904/1981, pp. 43-203), e Henri Poincaré (1854-1912) que procura esclarecer o seu significado (Poincaré, 1902/1968, pp. 173-190).

O papel da metafísica, em particular na elaboração e na procura de significado das leis científicas, é outra questão tratada por inúmeros cientistas e filósofos entre os quais os já citados Poincaré (Poincaré, 1902/1968, pp. 157-172) e Duhem (Duhem, 1904/1981, pp. 27-57). A questão é bastante controversa. Por exemplo, Ernst Mach (1838-1916) procura combater o uso de conceitos metafísicos na física teórica (Mach, 1895/1943, pp. 186-213). No entanto, Karl Popper (1902-1994), ao escrever sobre demarcação entre ciência e metafísica (Popper, 1956/1992, pp. 177-181), afirma que o fenomenalismo de Mach se tornou cada vez mais metafísico (p.178). Ainda outros filósofos tratam vários aspectos do problema, atestando a importância da relação entre ciência e metafísica - Gerald Holton aborda a questão do ponto de vista da metafísica da criação científica (Holton, 1996/1998, pp.96-123) e Alfred Ayer escreve sobre a “eliminação da metafísica” (Ayer, 1952, pp. 33-45). A relação entre ciência e metafísica pode, à primeira vista, parecer uma questão excessivamente filosófica para ter em conta no ensino das ciências. No entanto, para o professor, ela é fundamental para esclarecer o porquê de certas representações e formalismos usados na física e na química e para justificar o hermetismo contido na linguagem destas ciências.

A problemática das leis científicas e das questões que lhe estão associadas continua, pois, a despertar o interesse dos historiadores e filósofos das ciências, e também dos cientistas. Não é difícil justificá-lo se pensarmos que muitos dos princípios ou regras da ciência podem ser pensados como leis da natureza – a lei da gravitação, as leis do movimento, a dos gases ideais, as leis de Mendel, etc. Essas leis são ensinadas em vários níveis de escolaridade, onde a perspectiva da história e filosofia das ciências pode desempenhar um papel (Euler, 2006). Dado que as leis são um tema centralizador no desenvolvimento da ciência, o trabalho de cientistas historiadores e filósofos em torno da questão aborda problemáticas que estão sempre presentes no seu ensino. A diferença entre dedução e indução, as relações entre os casos particulares e o geral, a passagem dos dados da experiência para a formulação de uma lei, a sistematização dos resultados e a sua hierarquização, são tudo questões subjacentes à reflexão sobre as leis científicas. Incorporar essa reflexão no ensino das ciências, ao nível de quem ensina e de quem aprende, constituiria certamente uma valência do ponto de vista da aprendizagem.

LEIS DA NATUREZA – DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS PARA O ENSINO

A breve fundamentação histórico-filosófica do parágrafo anterior permite afirmar que as leis da natureza são uma questão importante na história das ciências, particularmente na história das ideias científicas, mas também na filosofia das ciências. Por outro lado, é fácil admitir, mesmo sem recurso a qualquer teoria sobre educação, que a qualidade dos conhecimentos que se adquirem nas diversas disciplinas científicas é claramente valorizada pelo seu enquadramento histórico e cultural. Nesse sentido, um dos requisitos do ensino das ciências, sobretudo ao nível do ensino secundário, deveria ser o de situar no tempo, e na cultura em geral, as matérias a ensinar. Por outro lado, a história e filosofia das ciências, para além do seu papel de integração cultural e histórica dos conhecimentos, têm também efeitos cognitivos, como evidenciam alguns dos estudos citados (Matthews, 1994; Euler, 2006; Coelho, 2009, 2010), que aliás nos remetem para muitos outros.

Algumas questões do âmbito da história e filosofia das ciências deveriam, por questões epistemológicas, ser obrigatoriamente esclarecidas quando se ensina física, química ou ciências da terra e da vida. Uma delas pode ser sintetizada numa frase simples: a ciência moderna, nascida no Renascimento,

é ainda a ciência actual. Um tal enunciado, incontornável na história das ciências, mas que, pelas suas implicações, e complicações, não é simples de transmitir, permitiria dar sentido, por exemplo, à obrigatoriedade de conhecer o formalismo físico-matemático da descrição do movimento. Não é difícil encontrar outros exemplos em que a ligação da ciência actual com o seu passado justifica plenamente a inserção de dados históricos e epistemológicos na matéria. Os programas oficiais do ensino secundário reflectem, aliás, essa preocupação de relacionar ensino e história da ciência.

Referir Galileu e Descartes na física, Lavoisier (1743-1794) e Proust (1754-1826) na química, Lineu (1707-1778) e Mendel (1822-1884) na biologia parece inevitável. Mas, para além disso, citar a propósito os cientistas e as suas contribuições, situa, enquadra, justifica e dá coerência aos conteúdos tratados. A invenção na ciência permite contextualizar logicamente a apresentação das matérias, dando-lhes um sentido, frequentemente difícil de conseguir de outra forma. Referir as invenções dos cientistas não é um acto gratuito, embora possa aparecer como tal, quando a ligação não é devidamente estabelecida.

A compreensão do que é o “método científico” é outro aspecto da aprendizagem da ciência que, quando fundamentado na história e na filosofia da ciência, facilita o acesso ao rigor essencial ao espírito científico. Embora a questão do “método científico” seja algo polémica (Popper, 1956/1992, pp. 39-42), a sua abordagem é fundamental na formação científica. De facto, a prática científica na actualidade integra o método que tem vindo a ser construído desde o Renascimento, caracterizado por observação, experimentação, estabelecimento e enunciado de resultados na forma mais geral possível, e ainda por confirmação e validação. Compreender e interiorizar este processo é parte integrante da aprendizagem da ciência e da sua racionalidade, nos dias de hoje.

E no que diz respeito às leis da natureza? Deve a questão ser abordada no ensino? As observações feitas a propósito do estudo do movimento poderiam ser aplicadas, com algumas diferenças, às leis da natureza. Por vezes, as leis científicas aparecem no ensino como o resultado de caprichos criativos, ou golpes de génio dos seus proponentes. É o caso da lei da inércia, cuja história é difícil de seguir, mesmo para os especialistas (Koyré, 1939/1986, pp. 199-426). Embora no ensino não seja possível, evidentemente, fundamentar a sua história com profundidade, ensinar essa lei exigiria um enquadramento conceptual.

O valor das “leis da natureza” no ensino, para além da sua inerente dimensão histórica, pode medir-se também pelos aspectos cognitivos e epistemológicos: organização e estruturação do conhecimento, entendimento do processo de generalização dos resultados, compreensão e aquisição do método científico.

Se considerarmos matérias de carácter mais descritivo, como as da terra e da vida, para que a ciência não apareça como um conjunto de dados, de factos e de receitas, a sua apresentação precisa de ser bem enquadrada na história, nas ideias científicas, na disciplina (Poincaré, 1900).

Para além de vantagens do foro cognitivo, a abordagem histórica e filosófica das leis científicas possibilita também a construção de uma imagem global da ciência e portanto reforça a formação para a cidadania, uma prioridade a ter em conta no presente.

O reconhecimento oficial da contribuição da história e filosofia das ciências no ensino é claro nas considerações e recomendações para o ensino da Física e Química do Ministério da Educação (Ministério da Educação, 2001a): “Pensamos que a Física pode e deve ser ensinada mostrando como os seus princípios e resultados básicos foram estabelecidos e como fazem parte de uma relevante herança cultural proporcionadora de meios de desenvolvimento da sociedade” (M. E., 2001a, p.5). E também ao destacar que é necessário “Compreender a importância de ideias centrais, tais como as leis de conservação e a tabela periódica dos elementos químicos” (M. E., 2001a, p. 7). A mesma mensagem é bem explicitada na frase em que se afirma como finalidade do ensino o “compreender o modo como alguns conceitos físicos e químicos se desenvolveram, bem como algumas características básicas do trabalho científico necessárias ao seu próprio desenvolvimento” (M. E., 2001a, p.7). Até nas actividades práticas é recomendada uma orientação que tenha em conta a história das ciências: “Também numa actividade laboratorial haverá a oportunidade de explorar a história, comparando o conceito de movimento segundo Aristóteles, Galileu e Newton, e aproveitando para que o aluno aprenda a distinguir os pressupostos em que se baseava o conhecimento científico para Aristóteles, Galileu e Newton” (M. E., 2001a, p.79).

O programa de Ciências da Terra e da Vida (10º ano) embora não contenha “recomendações”, é bem explícito relativamente a uma orientação que relacione os modelos apresentados com dados e factos: “Pretende-se desenvolver a compreensão de que os modelos concebidos para a estrutura da Terra são baseados ou inferidos a partir de uma variedade de dados científicos, o mesmo sucedendo com as várias hipóteses propostas para o ambiente terrestre pré-biótico” (M. E., 2001b, p. 66).

Esta questão tem aliás relação com o tema das leis científicas, no seu papel centralizador e unificador de pensamento, e pode ser colocada a propósito de outras áreas, como fez Poincaré (1854-1912) na física através de considerações que se tornaram ainda mais pertinentes com o crescimento de número de factos e dados na ciência:

“Na história do desenvolvimento da física distinguem-se duas tendências contrárias (...) A ciência evolui em direcção à unidade e à simplicidade. Por outro lado (...) parece avançar no sentido da variedade e da complicação. Destas duas tendências opostas, em que cada uma parece triunfar a seu turno, qual delas vencerá?” (...) “Se for a primeira, então a ciência é possível. Mas nada o demonstra *a priori*, e é legítimo temer que, depois de termos feito vãos esforços para, a custo, submeter a natureza ao nosso ideal de unidade, sejamos ultrapassados pelo fluxo sempre crescente de novas riquezas e tenhamos que renunciar a classificá-las, tenhamos que abandonar o nosso ideal e reduzir a ciência ao registo de um grande número de receitas”. (1900, p. 1172)

A defesa que se tem vindo a fazer da inclusão de conhecimentos de história e filosofia nas ciências, e em particular das leis científicas, ou leis da natureza, deixa por resolver a questão prática de saber como e onde acrescentar esses conhecimentos ao conjunto, já pesado, dos que fazem parte do programa. Não se pretende aqui dar uma receita completa e definitiva para essa questão, aliás tão difícil. Mas, tendo em conta a estrutura dos programas e os seus conteúdos, parece razoável que a inclusão da história e filosofia das ciências deveria ser feita mais intensamente em certos momentos, mas também pontualmente ao longo de todo o ano. É importante referir que, na prática, essa situação “ideal” é difícil de conciliar com a actual formação dos professores e também com os programas, apesar das “recomendações” do Ministério.

Tomando como tema as leis científicas, e seguindo o critério atrás enunciado, ou seja, o de usar duas formas de presença da história e filosofia das ciências, uma mais pontual, outra mais geral, far-se-ão algumas observações críticas e algumas propostas a propósito de dois temas da física do 11º ano de escolaridade – a mecânica e o estudo do átomo. O ponto de partida destas observações foram dois manuais do 11º ano adoptados por algumas escolas nos últimos anos e que incluem várias páginas dedicadas à história das ciências. Não se pretende com esta análise criticar os referidos manuais do ponto de vista da apresentação didáctica dos temas. A sua escolha também não pretende contribuir para qualquer estatística acerca dos manuais adoptados pelas escolas do país. Os referidos manuais são usados apenas como “estudos de caso”. Resta dizer que o que as observações feitas se podem generalizar a outros livros pois muitos dos manuais em vigor partilham a mesma forma de abordagem, não sendo possível, aqui, analisá-los todos com pormenor. É também importante referir que as insuficiências de história e filosofia das ciências encontradas nos manuais se justificam perfeitamente pela falta de formação dos professores nessas áreas.

O ESTUDO DA MECÂNICA NO 11º ANO

A mecânica, ou mecânica clássica, como foi chamada no século XX, é considerada a base da física e também o conjunto de conhecimentos que mais exactamente descreve o mundo físico. No Renascimento, a aplicação da matemática aos movimentos dos corpos terrestres ou celestes, permitiu tornar rigorosa a descrição desses movimentos. Descartes acreditava que todo o mundo material podia ser explicado em termos da física matemática com base no método das coordenadas. Nos séculos seguintes, as leis de Newton, e as leis da mecânica em geral, foram elaboradas segundo o método cartesiano e a mecânica tornou-se, até aos finais do século XIX, um modelo para as ciências exactas. Por exemplo, as várias teorias do electromagnetismo basearam-se em analogias mecânicas. Para explicar os fenómenos que estudavam, Faraday, William Thomson, Maxwell, e outros físicos, construíam sempre um modelo mecânico. Thomson afirmava mesmo que não se considerava satisfeito com uma teoria enquanto não encontrasse um modelo mecânico para a apoiar (Darrigol, 2000, p. 353).

O ensino da física matemática, tal como a sua história, inicia-se com a mecânica - é difícil fugir a esse modelo que foi o de construção da física teórica. Mas o conhecimento da história da física permite pôr em evidência o grande “salto epistemológico” que os estudantes são obrigados a dar nessa fase da sua formação em física. A partir do seu conhecimento intuitivo do movimento que será, quando muito, aristotélico (Koyré, 1939/1986, pp. 13-75), e do método das coordenadas, que por vezes ainda não dominam bem, eles devem ser capazes de elaborar os conceitos necessários à descrição físico-matemática do movimento, e de os aplicar aos cálculos que lhes são pedidos.

Se pensarmos que a humanidade levou mais de dois mil anos para dar este passo, admitiremos que a transição não é fácil e que os alunos devem ser preparados para tal. As especulações teóricas sobre o movimento que se prolongaram durante toda a Idade Média (Koyré, 1939/1986, pp. 13-75) põem em evidência as dificuldades conceptuais em ultrapassar o conhecimento intuitivo sobre o movimento. Não é simples preparar os alunos para a física matemática, mas uma das condições talvez seja dar-lhes alguns elementos históricos e conceptuais, para eles poderem situar-se. “Que é o movimento?”, seria um bom título para a iniciar uma justificação do que vai ser feito no primeiro estudo matemático sobre o movimento. Foi o escolhido pelos autores de um dos manuais de Física para o 11º ano de escolaridade (Sá, 2004). Em vinte e sete páginas (pp. 10-36) da I parte são estudadas as questões: trajectória, posição velocidade, momento linear, força, aceleração, do ponto de vista da física matemática.

Mas qual a relação entre esse “movimento”, assim estudado matematicamente, e os movimentos observados na vida quotidiana? Como se passou de uns a outros? Só a história da ciência e a da evolução dos conceitos e dos processos poderia responder.

No livro existem algumas páginas dedicadas à história. Neste capítulo, em particular na página 31, surge um texto denominado “As interacções fundamentais da Natureza” (Fig.1) que, tal como os outros textos de índole histórica estão etiquetados com a palavra “ler”. O próprio título indica que não se trata de esclarecer as raízes históricas e conceptuais do objecto do capítulo, como seria de esperar. É importante referir os temas aí tratados, mas talvez não neste momento da aprendizagem.

No capítulo seguinte “Leis da Dinâmica” (pp. 39-83) em que a matéria é: leis de Newton, conservação do momento linear, referenciais inerciais e acelerados, aparecem três textos, já claramente virados para a história das ciências, “Aristóteles”(p. 48), “Galileu” (p. 49/50) e “Newton” (p. 69). Deste último reproduz-se uma parte na Fig. 2. Pode ver-se que, apesar do interesse histórico dos elementos fornecidos, não houve a preocupação de apresentar as virtudes, e as dificuldades, da física matemática de Newton.

Repare-se que este capítulo seria especialmente adequado para referir a questão das leis científicas, que ainda eram leis da natureza no período histórico em questão – uma excelente oportunidade para referir a generalização dos resultados, tão importante na ciência do passado como na aprendizagem da ciência.

No mesmo livro, e ainda na mecânica, há um capítulo dedicado ao “Movimento oscilatório” (pp. 129-142), cujo conteúdo é: movimento harmónico simples; energia de um oscilador. Embora existam razões para incluir o movimento oscilatório nesse momento da formação, o seu estudo aparece desgarrado do resto da matéria e não é dada qualquer justificação para a sua presença. Seria interessante referir, para além das ligações científicas com o resto do capítulo, também as históricas, embora não tivessem sido com certeza essas que estiveram na origem da sua inclusão no programa, a seguir ao estudo dos movimentos.

Para finalizar o capítulo surge um texto sobre o movimento, da autoria de um dos colaboradores do manual (Fig. 3). Feito certamente com intenções culturais, o texto pouco esclarece também as questões difíceis em causa neste capítulo.

LER

As Interações Fundamentais da Natureza

A coesão do Sistema Solar e a existência das galáxias devem-se à **interacção gravítica**. Assim, é esta interacção que mantém os planetas à volta do Sol, a Lua à volta da Terra, que provoca as marés e faz cair maçãs. Foi estudada por Newton (1642-1727) no século XVII. É uma interacção de longo alcance e tem intensidade apreciável quando, pelo menos um dos corpos, tiver grande massa (fig. 1.19).

	Intensidade da Força Gravítica
Terra-Sol	$3,55 \times 10^{22}$ N
Terra-Lua	$2,03 \times 10^{20}$ N
Terra-maçã	1,96 N
Maçã-maçã (a 1 metro)	$2,67 \times 10^{-12}$ N

1.19 ▲
Intensidade da força gravítica.

Em sistemas atómicos e subatómicos, domina a **interacção electromagnética**, tendo a interacção gravítica muito pouca importância. Por exemplo, entre dois electrões, a força gravítica é 10^{-42} vezes menor que a electromagnética. Esta é, então, responsável pela estrutura atómica, ligando os electrões ao núcleo para formar átomos e ligando os átomos para formar moléculas. Esta interacção explica também as reacções químicas e a estabilidade dos seres vivos. Os seus efeitos fazem-se sentir tanto a longa como a curta distância, sendo mais intensa que a gravítica. Forças como o atrito, a força muscular, a força elástica e as tensões de fios são, afinal, de natureza electromagnética, pois estão todas relacionadas com ligações entre átomos. O seu estudo foi desenvolvido pelo físico escocês James Maxwell (1831-1879) no século XIX.

O estudo do núcleo conduziu à descoberta de outras duas interacções fundamentais.

Como se explica a estabilidade do núcleo? Só com a existência de uma interacção bastante forte para vencer a repulsão electromagnética entre os prótons. Chama-se **interacção forte**. A sua presença não se detecta fora do núcleo sendo, portanto, de alcance muito curto, da ordem do tamanho do raio médio do núcleo, 10^{-15} m. Actua de igual modo sobre prótons e neutrões, não estando relacionada com a carga eléctrica. Tem sido estudada no século XX. A última contribuição para o seu conhecimento fez merecer a dois investigadores o Prémio Nobel da Física em 1994.

Ao contrário da interacção forte, que mantém unidos prótons e neutrões, há outra interacção nuclear, a **interacção fraca**, responsável pelo facto de alguns núcleos se desintegrarem, dando origem a outros. É nisto que consiste a radioactividade. Consideremos um caso simples de desintegração radioactiva: um neutrão pode dar origem a um próton, um electrão (partícula β) e um neutrino, obtendo-se um núcleo com menos um neutrão e mais um próton. A interacção fraca é menos intensa que a electromagnética, mas mais intensa que a gravítica. O seu alcance é muito curto, mais curto que o da interacção forte.

Ao longo dos tempos, os físicos têm proposto teorias que, estabelecendo semelhanças entre fenómenos aparentemente desligados, mostram que as interacções básicas afinal são muito poucas. Têm-se mesmo empenhado na procura da teoria que reduza, a uma só, as interacções fundamentais hoje conhecidas.

A primeira tentativa de unificação foi conseguida por Newton ao estabelecer que, fenómenos tão diferentes como a queda de uma maçã e o movimento da Lua, tinham a mesma causa: a interacção gravítica. As «forças cósmicas» não são, afinal, diferentes das «forças terrestres».

No fim do século XIX, a unificação da Electricidade com o Magnetismo foi estabelecida quando o físico dinamarquês Oersted (1777-1851) verificou que uma corrente eléctrica actuava numa agulha magnética, ao que se seguiu a descoberta, pelo físico inglês Michael Faraday (1791-1867), da produção de corrente eléctrica

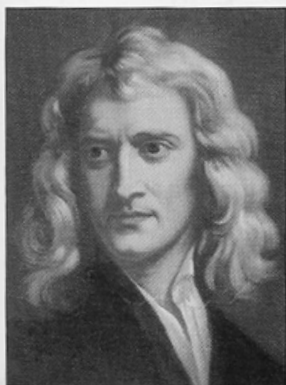
Figura 1 - "As interacções fundamentais da Natureza" em Sá, M.T.M., Física, 11º ano, p. 31

LER

Sir Isaac Newton @net

Newton (fig. 1.53) nasceu na aldeia de Woolsthorpe, no Lincolnshire, Inglaterra, em 1642, ano da morte de Galileu.

Em idade escolar, demonstrava já um grande interesse por construir sistemas mecânicos que ele próprio projectava, tais como relógios de água e quadrantes solares.

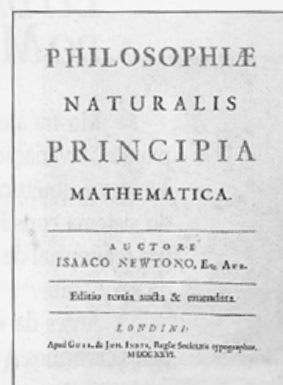


◀ 1.53
Isaac Newton
(1642-1727).

Após a graduação no Trinity College, Universidade de Cambridge, foi obrigado a retirar-se durante os anos de 1665 e 1666 para Woolsthorpe, por causa de uma epidemia de peste negra, que levou ao encerramento da Universidade. Durante estes dois anos fez importantes descobertas na Matemática Pura, na Mecânica Celeste, na Dinâmica e na Óptica. Estabeleceu o Teorema do Binómio e inventou, independentemente do filósofo e matemático alemão Leibniz (1646-1716), o Cálculo Diferencial e Integral. A observação da queda de uma maçã conduziu Newton à ideia da atracção universal e à dedução da respectiva lei, segundo ele próprio relatou ao seu biógrafo Stukeley. Foi nesta altura que desenvolveu as ideias de Galileu sobre o movimento e enunciou as duas primeiras leis. Também chegou à fórmula da aceleração centrípeta. Fez trabalhos experimentais relacionados com a luz, a cor e o fenómeno das interferências. Na verdade, só uma excepcional capacidade de concentração pode explicar um tão elevado número de descobertas em tão pouco tempo.

De regresso a Cambridge, já famoso pelos seus trabalhos, foi nomeado professor de Matemática.

A publicação, em 1672, da sua teoria sobre a luz e as cores gerou tanta controvérsia que resolveu não publicar mais nada, tão introvertido era. Foi Halley (astrónomo cujo nome foi dado a um cometa) quem o persuadiu a completar e a publicar *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (fig. 1.54). Neste tratado enunciou as três leis do movimento, clarificou os conceitos de massa e de momento linear e formulou a Lei da Atracção Universal. De enunciados sintéticos e muito gerais, estas leis constituem as bases da Mecânica Clássica. Note-se como Newton explana, a seguir ao enunciado da Terceira Lei, os conceitos de acção-reacção e de momento linear:



◀ 1.54
Primeira página de
*Philosophiæ Naturalis
Principia Mathematica*,
publicado em 1687.

«Tudo o que comprime ou arrasta outra coisa é outro tanto comprimido ou arrastado por ela. Se alguém comprime com o dedo uma pedra, o seu dedo é igualmente comprimido pela pedra.

Se um cavalo arrasta uma pedra ligada por uma corda, o cavalo é também puxado, em sentido oposto, para a pedra. Com efeito, a corda esticada dos dois lados, pela própria tendência de se afrouxar regressando ao repouso, impelirá o cavalo para a pedra, como a pedra, por sua vez, para o cavalo. E tanto se impedirá o avanço de um, quanto, resistindo, o momento linear do outro se tenha de algum modo modificado. Aquele, por

Figura 2 – Newton, em Sá, M.T.M., Física, 11º ano, p. 69



Sempre que piscamos um olho, uma estrela, algures, mexe-se. Talvez só muito pouco. Mas o movimento tem disto. É a marca da unidade indivisa do Universo.

No movimento está a serenidade do repouso. A Terra suspende-se do espaço à volta do Sol. O sistema solar transporta-se em torno de um ponto da Via Láctea. A galáxia descreve uma trajectória em torno de ... Que por sua vez gira à volta de... E, ... o movimento, na sua própria relatividade, leva à tranquilidade. Sem alguém segurar este planeta, onde viajamos, sabemos que não estamos a cair. A cair no espaço, entenda-se. Porque no tempo ... No tempo, ao certo, ninguém sabe.

Medem-se e calculam-se as relações entre o espaço e o tempo. Chamamos-lhes velocidade e aceleração. O voo no espaço e no tempo, a trajectória, tem um código: As leis da dinâmica.

A primeira versão deste codex para viajar no espaço e no tempo deve-se a Newton. Terá visto, um dia, cair uma maçã.

Não se conhece mais daquela maçã. Mas, então, tal como hoje, sobre este planeta, ou em qualquer outro lugar do Universo, o seu movimento, como o de tudo o que é material, ficou determinado. Está escrito no codex da dinâmica que dependerá da velocidade inicial e da resultante das forças que sobre ela actuarem.

A dependência refere-se à massa, à matéria. Permeia toda a dinâmica. Quando há massa ela agarra-se à velocidade e é momento linear. Quando adere à aceleração é preciso força.

Em algumas circunstâncias apesar de todas as viscosidades os momentos conservam-se. É por causa deles que usamos cinto de segurança no carro e nos atamos às cadeiras dos aviões. Mas, sobretudo, viajamos.

É mais fácil quando o sistema, o corpo, resulta de interações que fazem o todo constituído por partículas ligadas entre si, solidariamente. É que é fácil calcular o Movimento de uma Partícula Material quando livre e quando actuada por forças. O movimento depende, então, da direcção relativa entre as forças e a velocidade. Uma vez em-purra as partículas em frente, outras fá-las andar à roda.

Ainda outras vezes, algumas vezes, o que repele também atrai.

Coexistem forças de repulsão com outras de atracção. Desde os Gregos que harmonia é o encontro compatível entre opostos.

É por isso que, algumas vezes, o movimento é harmónico.

Todos gostamos que o voo, no espaço e no tempo, desta nossa vida seja harmónico e seja simples.

No caso das partículas é até possível calcular a energia para que o oscilador o faça, simples e harmonicamente.

Quando se trata da vida também dá trabalho conciliar opostos.

Vale a pena.



+ M

CARVALHO RODRIGUES

Figura 3 – *Viajando com Física*, em Sá, M.T.M., Física, 11º ano, p. 143

Para iniciar o ensino da mecânica do ponto de vista da física matemática seria importante encontrar um enquadramento histórico e conceptual que justifique essa formulação tão árida, e tão afastada do conhecimento intuitivo sobre o movimento. Embora não seja tarefa fácil, é possível estabelecer estratégias que apontem nessa direcção. Dão-se aqui algumas sugestões que foram sendo elaboradas ao longo da prática lectiva e que procuram ir de encontro ao que se julgam ser as principais dificuldades de aprendizagem neste tema: Referir a investigação das “leis da natureza”, de Arquimedes a Galileu e o lugar do estudo do movimento nessa investigação; Referir o surgir da física matemática e relacioná-lo com os conhecimentos já adquiridos sobre o método das coordenadas; Enquadrar historicamente o estudo do movimento na física matemática, justificando assim que no estudo da física clássica se comece pela mecânica; Referir a importância do formalismo matemático na mecânica e nas outras matérias que se seguirão no estudo da física; Referir a utilização de modelos na física e o seu significado, em particular no estudo do movimento; Referir o sucesso da aplicação desses modelos, por exemplo, ao estudo do movimento dos planetas.

Estas referências que, como no livro exemplificado, devem ser inseridas em textos complementares, mesmo se forem breves, servem de enquadramento e justificação da matéria de mecânica clássica. A sua posição, ao longo do capítulo sobre movimento deveria ser criteriosamente escolhida. Resta dizer que a noção de lei científica está presente em praticamente todas as estratégias discriminadas, algumas vezes de forma clara, outras vezes de forma oculta.

Para terminar esta curta abordagem do estudo da mecânica, é interessante referir a posição de um grande cientista – Poincaré - que aponta uma solução pedagógica para o estudo das leis da mecânica, que aliás denominava princípios (Poincaré, 1904/1970, pp 126-127). Poincaré, embora fosse matemático, ensinou física matemática (Darrigol, 2000, pp. 352-354) e deixou algumas reflexões pertinentes sobre as questões conceptuais nos diversos artigos que escreveu. Uma delas vem a propósito dos problemas aqui levantados sobre o ensino da mecânica:

“Os ingleses ensinam a mecânica como uma ciência experimental. No Continente é sempre apresentada mais como uma ciência dedutiva e *a priori*. São os ingleses quem tem razão, nem é necessário afirmá-lo. Mas como foi possível perseverar durante tanto tempo no mesmo erro? Porque é que os cientistas continentais, que procuraram fugir aos vícios dos seus predecessores, o não conseguiram inteiramente, a maior parte das vezes?” (Poincaré, 1902/1968, p. 111).

A observação de Poincaré, de que os ingleses têm razão em ensinar a mecânica como uma ciência experimental, alerta-nos mais uma vez para as dificuldades em ensinar a mecânica teórica, mesmo reconhecendo a necessidade de o fazer num dado momento da aprendizagem

O ESTUDO DO ÁTOMO NO 11º ANO

Com o estudo do átomo entra-se na microfísica. O formalismo matemático, pelo menos no início, é mais leve do que no caso da mecânica. Mas a história é bem mais complicada. O seu relato exigiria várias páginas. Mesmo que tal seja impossível no quadro do ensino actual, a importância da matéria torna indispensável a apresentação de um mínimo de referências históricas. No livro consultado (Corrêa, Nunes, & Almeida, 2003), no capítulo I, “Investigando a estrutura dos átomos” (pp.6-83) é feita uma pequena apresentação histórica logo no início, através das biografias de dois cientistas, Mendeleiev e Bohr (Fig. 4 e Fig. 5). A escolha dos cientistas foi oportuna e adequada, mas o que está dito sobre eles já é discutível, tendo em conta a dimensão dos textos. Em particular a referências a questões éticas, fundamentais no ensino actual, deveriam ser separadas da história científica do átomo.



Figura 4 – Niels Bohr em Corrêa et al., Química, 11º ano, p. 6

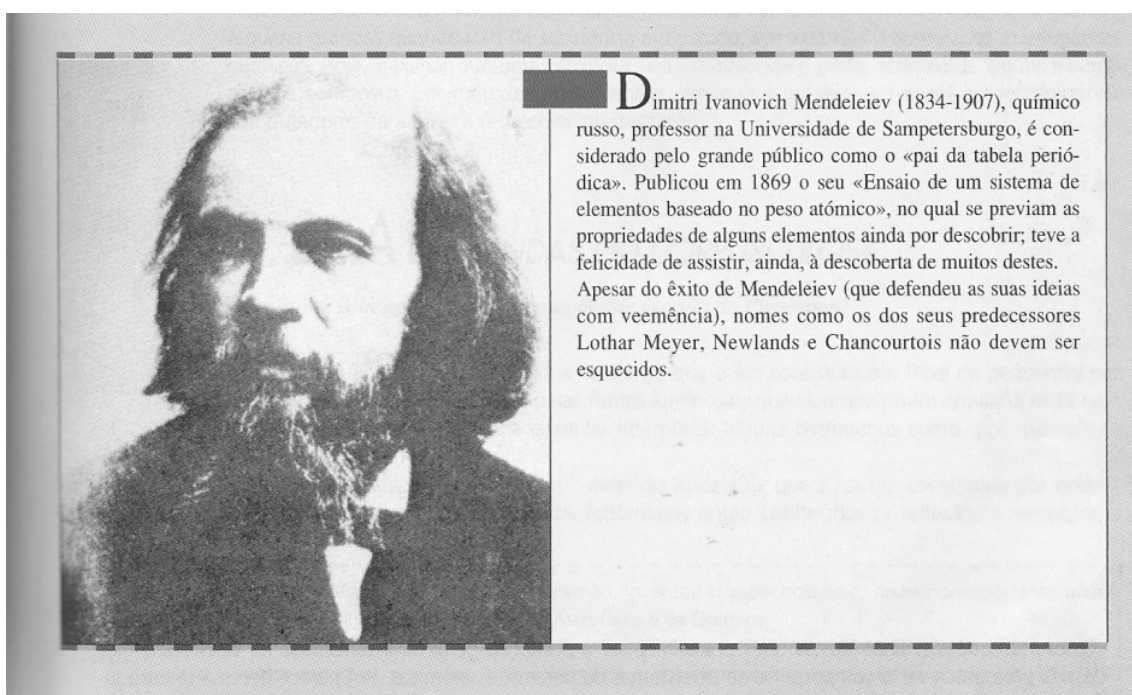


Figura 5 – Mendeleiev em Corrêa et al., Química, 11º ano, p. 7

Ao longo do mesmo capítulo são ainda inseridos os nomes de alguns cientistas e das suas descobertas, assim como três páginas sobre a história da tabela periódica, onde é dito que existe uma relação entre o lugar de um elemento na tabela e a constituição do respectivo átomo.

Independentemente da qualidade pedagógica da apresentação do tema, que aqui não está em causa, o primeiro estudo do átomo exigiria uma pequena história da teoria atómica, destacada do texto da matéria. Embora os elementos históricos não sejam indispensáveis para o conhecimento da estrutura atómica, que

a este nível de conhecimento é essencialmente descritivo, eles permitem enquadrar e justificar o seu estudo. A história, ensinada em paralelo com o desenrolar dos dados sobre o átomo, tem várias funções. Pode, por exemplo, atenuar a aparente “arbitrariedade” que parece haver na sucessão de descobertas que conduziram à formulação da teoria atômica. Permite também pôr em evidência a alternância das contribuições experimentais e teóricas, e das que resultaram de diferentes áreas de conhecimento. Neste caso do átomo, a história é indispensável para completar o quadro dos conhecimentos de física e química. Os aspectos de lei científica estão também presentes na história do átomo. Basta pensar no processo de procura de características comuns e de generalização exigidos pela classificação dos elementos. Há aliás um sinal desse processo na terminologia – lei das oitavas. Mais uma vez os processos epistemológicos que estiveram na base da invenção em ciência podem ser importantes no ensino.

Outro aspecto que merecia alguns dados históricos é o da relação entre átomos e radiação. No livro em análise, na página 9, ao “Relacionar a luz com a estrutura atômica” é dito que “Há mais de um século que se utiliza a luz como “ferramenta” para examinar a matéria e obter informações sobre a sua estrutura”. Esta é a única justificação para a presença do parágrafo “absorção e emissão de luz pela matéria” (16 páginas num total de 65) a abrir o capítulo “Investigando a estrutura dos átomos”. Uma pequena nota histórica teria dar sentido a esta ligação entre luz e matéria, neste nível de conhecimento. Também aqui há “leis”, ou regras, a referir que tiveram uma enorme importância na investigação da estrutura do átomo – as relações entre níveis de energia e frequência das radiações.

CONCLUSÃO

O conhecimento de algumas matérias incluídas nos programas do ensino secundário implica a aquisição de conceitos difíceis de adquirir fora do quadro da história das ciências e da epistemologia. Dessas matérias fazem parte os dois casos tratados – a mecânica e a teoria atômica – que, ocupando uma parte significativa do programa do 11º ano, e fazendo parte da formação básica fundamental nas áreas da física e da química, mereciam um tratamento que não foi dado nos dois livros consultados. Esta é a nossa conclusão, sem prejuízo de reconhecer a qualidade desses manuais e o facto dos mesmos contemplarem outras perspectivas que não a da história e filosofia das ciências. Mas, tendo em conta as recomendações do Ministério da Educação, seria importante que os manuais incluísem textos adequados, construídos de forma a integrarem a ciência actual no seu contexto histórico e filosófico.

No estudo dos temas referidos, e da física e química em geral, há inúmeras oportunidades para abordar a questão das leis da natureza e do seu significado, dado que, mesmo quando não são apresentadas como tal, mesmo quando não estão explicitadas, são parte integrante da física e da química. A apresentação das leis num contexto histórico-filosófico poderia contribuir significativamente para a compreensão de várias matérias consideradas áridas e de difícil compreensão. A perspectiva histórica e filosófica poderia também contrabalançar a tendência, no mundo actual, de identificação da ciência com a tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armstrong, D. (1978). *A Theory of Universals*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Armstrong, D. (1983). *What Is a Law of Nature?*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Armstrong, D. (1991). ‘What Makes Induction Rational?’. *Dialogue*, 30, 503-511.
- Ayer, A. J. (1952). The elimination of metaphysics. In *Language, Truth, and Logic*, New York, NY: Dover.
- Bohm, D., & Peat, F. (1989). *Science, Order and Creativity*. London: Routledge.
- Carroll, J. W. (2006). *Laws of Nature*. Cambridge: Cambridge University Press. Disponível em <http://plato.stanford.edu/entries/laws-of-nature/>.

- Coelho, R.L. (2009). On the Concept of Energy: How Understanding its History can Improve Physics Teaching. *Science & Education*, 18 (8), 961–983.
- Coelho R. L. (2010). On the Concept of Force: How Understanding its History can Improve Physics Teaching. *Science & Education*, 19 (1), 91 – 113.
- Corrêa, C., Nunes, A., & Almeida, N. (2003). *Química, 11º ano*. Porto: Porto Editora.
- Dalmedico, A.D., & Peiffer, J. (1986). *Une histoire des mathématiques*. Paris : Seuil.
- Darrigol, O. (2000). *Electrodynamics, from Ampère to Einstein*. New York, NY: Oxford University Press.
- Duhem, P. (1981). *La théorie Physique : son objet, sa structure*. Paris : Librairie Philosophique J. Vrin.
- Euler, M. (2006). Revitalizing Ernst Mach’s Popular Scientific Lectures. In *Science & Education*. DOI: 10.1007/s11191-006-9020-3. Disponível em <http://www.springerlink.com/content/mn06786981m84113/>.
- Giere, R. N. (1999). *Science without Laws*. Chicago: University Chicago Press.
- Hoffman, R. (1999). Molecular Beauty. In J. McErlean (Ed.), *Philosophies of Science* (334-340). USA: Wadsworth.
- Holton, G. (1996/1998). *A Cultura Científica e os seus Inimigos: o legado de Einstein*. (F. H. de Passos, Trans.). Lisboa: Gradiva. (Texto original publicado em 1996).
- Kasner, E., & Newman, J. (1940). *Mathematics and Imagination*. New York, NY: Dover.
- Koyré, A. (1939/1986). Introdução. *Estudos Galilaicos*. Lisboa: Dom Quixote. (Texto original publicado em 1939).
- Lenoble, R. (1990/2002). *História da Ideia de Natureza*. Lisboa: Edições 70. (Texto original publicado em 1990).
- Lewis, D. (1973). *Counterfactuals*. Oxford: Blackwell Publishers.
- Lewis, D. (1983). ‘New Work for a Theory of Universals’. *Australasian Journal of Philosophy*, 61(4), 343-377.
- Lewis, D. (1987). *Philosophical Papers, Volume II*. New York: Oxford University Press.
- Lodge, O. (1956). Johann Kepler. In J. Newman (Ed.), *The World of Mathematics* (220-234). New York, NY: Dover.
- Mach, E. (1897). *Popular Scientific Lectures*. Chicago: Open Court Publishing.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: the role of history and philosophy of science*, New York, NY: Routledge.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (2001a). *Programa de Física e Química A (2001), 10º ou 11º anos*. Disponível em http://eec.dgidec.min-edu.pt/programas/fisica_e_quimica_10_ou_11_anos.pdf
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (2001b). *Programa de Biologia e Geologia (2001), 10º ou 11º anos*, Disponível em http://eec.dgidec.min-edu.pt/programas/biologia_geologia_10_ou_11_anos.pdf
- Poincaré, J. H. (1900). Les relations entre la physique expérimentale et la physique mathématique. *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 11, 1163-1175.

- Poincaré, J. H. (1968). La science et l'hypothèse. In E. Flammarion (Ed.), *Science de la Nature* (Volume 56). Paris: Flammarion.
- Poincaré, J.H. (1923). *La valeur de la science*. Paris: Flammarion.
- Popper, K. (1956/1997). *O realismo e o objectivo da Ciência*. (N. F. da Fonseca, Trans.). Lisboa: Dom Quixote. (Texto original publicado em 1956).
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1984). *Order out of Chaos: Man's new dialogue with nature*. London: Flamingo.
- Sá, M. T. M. (2004). *Física, 11º ano*. Lisboa: Texto Editora.
- Serra, I. (1994). Matemática e Representação do Mundo. *ACTD, Ciência e Tecnologia Sociedade*, 21, 6-14.
- Swartz, N. (2009). Laws of Nature. In *Internet Encyclopedia of Philosophy*. Disponível em <http://www.iep.utm.edu/lawofnat/>
- Van Fraassen, B. C. (1989). *Laws and Symmetry*. New York, NY: Oxford University Press.
- Wagner, P. (2002). *Les Philosophes et la Science*. Paris: Editions Gallimard.
- Whitehead, A. N. (1956). Mathematics as an element in the History of Thought. In J. Newman (Ed.), *The World of Mathematics* (402-417). New York, NY: Dover.

AS LEIS DA NATUREZA NO ENSINO SECUNDÁRIO

RESUMO

Na ciência, as leis e as teorias representam o processo de generalização que caracteriza o conhecimento científico, e que é essencial comunicar no ensino. Esta ideia serve aqui como pretexto para tratar a presença da história e filosofia das ciências no estudo de duas matérias de físico-químicas que fazem parte do 11º ano de escolaridade – a mecânica e a teoria atómica. Relativamente a estes temas, e usando dois manuais escolares, são feitas algumas observações que pretendem pôr em evidência as potencialidades do uso da história e da epistemologia na aprendizagem.

Palavras-chave:

A relevância da história e filosofia das ciências no ensino; leis científicas.

THE LAWS OF NATURE IN SECONDARY EDUCATION

ABSTRACT

Scientific laws and theories are the result of an act of generalization, and it is essential, when teaching science, to convey this process. It is thus important to accompany science classes in secondary school with an appropriate background in history and philosophy of science. Here we work with two subjects - mechanics and atomic theory. Looking at two school books, we make some remarks concerning these subjects, pointing to the potential role which history and epistemology of science may play in the classroom.

Key words:

The relevance of history and philosophy of science in education; scientific laws.