

ESTÉTICA E SIMETRIA NA MECÂNICA: O CASO DAS LEIS DE NEWTON

Flaviston Ferreira Pires, José Alves da Silva, Thais Cyrino de Melo Forato
Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema - Brasil

RESUMO: Destacamos a busca das bases estéticas e simétricas nos princípios que fundamentam a física, de natureza ontológica, relacionadas à homogeneidade e isotropia do espaço e à irreversibilidade do tempo, as quais são essenciais para compreender seus três princípios fundamentais: o da conservação do momento linear, do angular e da energia, presentes nas leis de Newton. Realizamos uma pesquisa bibliográfica e uma revisão historiográfica buscando identificar alguns pressupostos estéticos na fundamentação de tais leis. Os resultados revelam que questões estéticas e simétricas foram de suma importância dentro das leis de Newton e podem apresentar novas perspectivas para o seu ensino.

PALAVRAS CHAVE: estética, simetria, leis de Newton, física, mecânica.

OBJETIVOS: Investigamos, a partir de uma pesquisa historiográfica, possíveis concepções de estética e de simetria que podem ter embasado as leis de Newton e, com isso, buscamos possíveis novos enfoques para o seu ensino.

MARCO TEÓRICO

Regatamos a discussão de estética e simetria presente em parte das obras de físicos como Prigogine, Feynman, Hawking e de físicos-educadores, tais como Menezes, partindo da noção de que sempre houve a busca pela estética nos fenômenos observados e descritos ao longo de sua construção histórica (Menezes, 2005). Em tal busca, um dos elementos centrais é a simetria, a ponto que Ferris (1990, p. 236) afirmou categoricamente que “a estética científica é iluminada pelo sol central da simetria”. Segundo Menezes (2011, p. 90), “as simetrias são essenciais nas teorias da física, desde as compreensões clássicas de espaço e tempo, cuja homogeneidade e uniformidade respondem pelas discussões das quantidades de movimentos e energia”.

Tal noção de simetria manifesta-se na discussão do que seria, por exemplo, o espaço. Pensando em dois pontos quaisquer desse espaço, ambos distantes de qualquer campo atrativo ou repulsivo, não há quaisquer razões para que as propriedades presentes em um deles sejam diferentes das do outro nas mesmas condições. Ou seja, os dois são absolutamente simétricos entre si. As diferenças entre eles ocorrem quando, por exemplo, é acrescentado um sistema de referência – escolha humana e externa a ele, no qual poderíamos expressar numericamente suas diferentes posições em função dessa referência. Por outro lado, se um deles estiver numa região em que há um campo gravitacional, então uma massa neste ponto terá efeitos diferentes de outra colocada em outro ponto sem esse campo. Tanto a adoção do sistema de referência quanto a existência de um campo atrativo são agentes que quebram a simetria dos pontos. Na ausência disso, há homogeneidade, ou seja, o espaço possui exatamente as mesmas

propriedades em quaisquer pontos (Menezes, 2005). A homogeneidade revela uma simetria do espaço, que implica, também, na impossibilidade de existir movimento em apenas um sentido, sem a compensação desse movimento no sentido oposto (algo que ocorre nos movimentos translacionais). O espaço possui outra notável simetria refletida nas rotações, denominada isotropia, ou seja, a de não possuir direção privilegiada. A existência de um campo magnético, porém, lhe quebra essa isotropia (Menezes, 2005), dando-lhe uma direção privilegiada. A conservação da energia, por sua vez, está relacionada à irreversibilidade do tempo, o qual possui duas características relacionadas à simetria: a uniformidade com que flui (na física clássica, não há alteração entre as passagens de cada segundo, por exemplo); e uma assimetria, presente em sua irreversibilidade. Em termos estéticos, essa assimetria relativa à orientação do passado para ao futuro impossibilita a inversão do sentido do tempo.

Neste trabalho, objetiva-se compreender como (ou se) essa estética e essa simetria estiveram presentes na concepção inicial das leis de Newton, admitindo que a associação entre essas leis e a História das Ciências (HC) possibilita novas abordagens para o ensino de ciências, amparadas teórica e metodologicamente pela linha de pesquisa em “História, Filosofia e Sociologia das Ciências no Ensino de Ciências” (Cachapuz *et al.*, 2008). A análise de episódios históricos permite uma discussão contextualizada de conceitos científicos, além de evidenciar aspectos da natureza das ciências (NDC), considerada como o componente mais importante da alfabetização científica atualmente (Acevedo-Díaz; García-Carmona; & Aragón-Méndez, 2016).

METODOLOGIA

A pesquisa de natureza teórica pauta-se na análise de fontes secundárias da história e filosofia das ciências, bem como em referenciais da didática das ciências. Iniciamos buscando concepções sobre estética e simetria na filosofia antiga (Suassuna, 2008; Talon-Hugon, 2008). Platão atribuiu a estética ao belo – num plano ideal, dissociado do mundo sensível, incorporando à palavra conceitos como proporção e harmonia. Aristóteles refutou as ideias platônicas e concebeu o conceito a partir da realidade sensível, compreensão e conhecimento do mundo a partir da experiência com os sentidos (mundo material), envolvendo parâmetros como simetria e ordenação. Dicionários brasileiros atuais (Aurélio, Dicio e Priberam) associam estética ao belo, em ressonância com as concepções filosóficas da Antiguidade. Dicionários etimológicos relacionam estética às sensações, à interpretação do mundo, numa perspectiva de que “o homem diante do mundo é um intérprete” (Quadros, 1986, p. 188):

E esse estético está onde quer que exista qualquer fazer humano, de qualquer ordem, dimensão ou nível. Trata-se, portanto, a partir da estética, de aprender e reaprender a ver o mundo enquanto o interpreta. [...] Estuda-se todo o ser humano, enfocando-o do prisma de sua sensibilidade, do seu gosto, dos seus juízos de valor estético, de suas interpretações (Quadros, 1986, p. 41. Grifos nossos).

Assim, estamos compreendendo a estética como a visão, o gosto, as percepções e outras ações decorrentes dos nossos sentidos, e as interpretações as quais atribuímos às coisas. Dessa forma, não a compreenderemos no seu sentido moderno e contemporâneo como a ‘filosofia da arte’, introduzido por Baumgarten e amplamente difundido a partir do filósofo alemão Georg W. F. Hegel (1770 – 1831), que relaciona a estética ao belo artístico (espiritual, sem a realidade física) (Hegel, [1820 - 1829] 1996), sendo contemplada nos diferentes tipos de artes, tais como a música, pintura, poesia e escultura.

Restringimos a questão da estética e da simetria à elaboração das leis de Newton, partindo-se de uma visão historiográfica a partir de fontes secundárias (Baptista & Ferracioli, 2009; Cohen & Westfall, 2002; Mcguire & Rattansi, 1966; Martins, 2006); e das vantagens, riscos e benefícios que poderiam ter as suas possíveis inserções no ensino de ciências (Forato *et al.*, 2011).

RESULTADOS

I. A importância da estética e da simetria para a concepção de espaço e de tempo de Newton

Segundo Koyré (1965 *apud* Cohen & Westfall, 2002), o espaço newtoniano era constituído por um vazio infinito e homogêneo; para Thackray (1968 *apud* Cohen & Westfall, 2002), o Universo de Newton era uma entidade quase inteiramente vazia e, de acordo com McGuire & Rattansi (1966), além de vazio, o espaço newtoniano era absoluto. Inferimos, nesses autores, a constatação da homogeneidade do espaço. Havia, no entanto, outra propriedade. Em um manuscrito da Royal Society, Newton escreveu: “Lucrécio ensina que não existe um centro no Universo, nem tampouco um lugar mais baixo, mas que há mundos espaciais infinitos [...]” (McGuire & Rattansi, 1966, p. 114. Grifos nossos. Tradução nossa). Num outro manuscrito da Royal Society, Newton escreveu:

A força da argumentação é que, se a natureza das coisas fosse limitada a qualquer direção, os corpos mais distantes, já que não teriam nenhum corpo além deles para o qual gravitar, não se manteriam em equilíbrio, mas, por sua própria gravidade, se deslocariam para as coisas internas e, fluindo juntos de todas as regiões, desde tempo infinitos, há muito se haveriam depositado no centro do todo, como se fosse o lugar mais baixo (McGuire & Rattansi, 1966, p. 114. Grifos e tradução nossos).

Assim, o espaço newtoniano não apresentava um centro definido para o Universo, tampouco limitava direções específicas para o movimento dos corpos. Dessa forma, admitimos que o espaço newtoniano é, também, isotrópico.

Em dois dos seus escólios, Newton escreveu:

O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa, mantém-se sempre semelhante e imóvel. O espaço relativo é certa medida ou dimensão móvel dos espaços absolutos, que os nossos sentidos determinam por sua posição em relação aos corpos, e que é comumente tomado pelo espaço imóvel; assim é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinada por sua posição com respeito à Terra. O espaço absoluto e o relativo são iguais na forma e na magnitude, mas nem sempre se mantêm numericamente os mesmos; [...] O tempo absoluto, real e matemático, por si só e por sua natureza flui uniformemente, sem relação com qualquer coisa externa, e recebe também o nome de duração; o tempo relativo, aparente e comum é uma medida sensível e externa (precisa ou desigual) da duração por meio do movimento, que é comumente usado no lugar do tempo verdadeiro, como uma hora, um dia, um mês ou um ano (reproduzido em Cohen & Westfall, 2002, p. 283. Grifos nossos).

Ao afirmar que “o espaço relativo é certa medida o que os nossos sentidos determinam por sua posição em relação aos corpos” e que “os espaços absolutos e relativos [...] nem sempre se mantêm numericamente os mesmos”, Newton expressa quebras de simetrias causadas pela implementação de sistemas de referências, que atribui coordenadas a cada posição do espaço. Ao propor que o espaço tenha uma pequena parte material – infinitesimal – e que os corpos estariam unidos pela lei da gravitação, que conecta e integra a atração da matéria, a qual pode dar-se a distância, Newton vai além de seus contemporâneos, unindo, de forma simultânea, “a continuidade do espaço e a descontinuidade da matéria” (Koyré, 1968, reproduzido em Cohen & Westfall, 2002, p. 91). Cabe salientar que, de acordo com Rattansi & McGuire (1966), Newton evitou explicar a causa da gravitação publicamente, pois ele a atribuía a Deus – algo que não podia manifestar oficialmente, pois seria acusado de adotar forças ocultas da Renascença. A primeiríssima geração de seus discípulos, entretanto, aceitou a força de atra-

ção como uma propriedade real, física e até primária da matéria. Foi a doutrina deles [dos discípulos] que varreu toda a Europa e que prevalece em grande parte até hoje.

II. Em relação às leis de Newton:

- Sobre a primeira lei de Newton. Refere-se à manutenção do estado de movimento de um corpo, apresentando o “movimento de referência” da mecânica newtoniana (Martins, 2012, p. 6) na ausência de forças externas. Daí o seu forte apelo estético, no sentido de ser simétrico, sem quebras, sem mudanças na expressão do movimento.
- Sobre a segunda lei de Newton. Implica diretamente na formulação do conceito de força, que era dado *a priori*, intuitivamente, em analogia à força muscular do homem (Jammer, 1979 *apud* Neves, 2000). Observamos, também neste caso, uma forte presença dos sentidos como avalista da escolha estética para a criação do conceito. Para chegar ao conceito de força tal qual conhecemos, Newton partiu dos conhecimentos cinemáticos de velocidade, considerou a massa como uma quantidade física inerente à natureza dos corpos materiais (que estabelece, além da quantidade de matéria, a dificuldade de se alterar o estado de movimento), definiu o que seria a quantidade de movimento e como seria possível variá-la. Foi a partir daí que Newton escreveu no enunciado da segunda lei: $F = \Delta mv$, e não $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, nem $\vec{F} = d(m\vec{v})/dt$, que nos são familiares atualmente. Newton considerava que $F = \Delta m \cdot v$ se aproxima a $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ como limite quando Δt se aproxima de zero (Westfall, 1984 *apud* Neves, 2000). A expressão $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ foi escrita, pela primeira vez, somente em 1747 por Euler, portanto, elas não aparecem em nenhum lugar do trabalho de Newton ou de qualquer outro antes de 1747 (Truesdell, 1968 *apud* Neves, 2000). Cabe salientar que a forma $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ deixa menos evidente a escolha estética de Newton de propor que a segunda lei expresse a quebra de simetria do movimento de referência.
- Sobre a terceira lei de Newton. Estabelece a impossibilidade de se gerar movimento em apenas um único corpo. Dessa forma, a atuação das forças sempre acontece em pares – não ocorrerá a conservação da quantidade de movimento se não for assim. Acreditamos, também por isso, que essa lei é a que mais escancara a crença nas simetrias presentes nas leis de Newton, pois mostra que o espaço precisa conservar suas propriedades simétricas, mesmo quando há mudanças locais de movimentos.

CONCLUSÕES

Ao levarmos em consideração a estética envolvida na formulação das leis de Newton agrega-se novos modos de compreender a construção do conhecimento científico. A discussão de estética e de simetria revela, por exemplo, as arbitrariedades presentes nos modelos, incluindo suas perfeições estéticas e suas simetrias idealizadas. Além disso, destacamos as dúvidas presentes nos princípios mais fundamentais da física, valorizando as subjetividades inerentes a eles. Muda-se, assim, a costumeira maneira de priorizar o ensino de um determinado conceito como se ele tivesse uma existência por si mesmo, desprovido de humanidade – como se fosse intrínseco à natureza. A HC evidencia os contextos e os aspectos epistemológicos envolvidos na elaboração dos conceitos, promovendo uma aprendizagem significativa e crítica de conteúdos, em que o novo conhecimento adquire significados mais ricos e estáveis em relação ao prévio do estudante (Moreira, 2013). Nesse sentido, este trabalho busca contribuir e fomentar essa discussão, a qual acreditamos ser inovadora e altamente contributiva, em sua essência, para uma melhor compreensão das bases ontológicas da física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO-DÍAZ, J. A., GARCÍA-CARMONA, A., & ARAGÓN-MÉNDEZ, M. M. (2016). Un caso de Historia de la Ciencia para aprender Naturaleza de la Ciencia: Semmelweis y la fiebre puerperal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 408–422.
- BAPTISTA, J. P., & FERRACIOLI, L. (1999). A evolução do pensamento sobre o conceito de movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 21, no. 1, mar.
- CACHAPUZ, A. *et al.* (2008). Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o caso “ciência-tecnologia-sociedade”. *ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciências e Tecnologia* 1(1): 27-49, mar.
- COHEN, B., & WESTFALL R. S. (2002). *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Tradução Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto/EDUERJ.
- FERRIS, T. (1990). *O despertar na via láctea: uma história da Astronomia*. 2ª ed. Rio de Janeiro. Editora Campus.
- FORATO, T. C. M., *et al.* (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. V. 28, n.1, 27-59, UFSC.
- HEGEL, G.W. F. (1996). *Curso de estética: o belo na arte*. São Paulo: Martins Fontes.
- MARTINS, R. A. (2006). A maçã de Newton: história, lendas e tolices In: SILVA, C. C. (Org.) *Estudo de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 167-189.
- (2012). A fundamentação histórica da lei da inércia: um exemplo de conflito entre educadores e historiadores da ciência no uso da história da ciência no ensino de física. *XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*. Maresias.
- MCGUIRE, J. E., & RATTANSI, P. M. (1966). Newton and the ‘Pipes of Pan’. *Notes & Records*. The Royal Society of London, 108-143.
- MENEZES, L. C. (2005). *A Matéria uma Aventura do Espírito: fundamentos e fronteiras do conhecimento físico*. 1ª. ed. São Paulo. Editora Livraria da Física.
- (2011). Simetrias, Irreversibilidad del Tiempo e Imponderabilidad en la Física. *Prometeica - Revista De Filosofia Y Ciencias*, Ciudad de Córdoba, Argentina, Año II – n. 4, 90-91, may-jun.
- MOREIRA, M. A. (2013). Grandes Desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea. *Conferência proferida na XI Conferencia Interamericana sobre Enseñanza de la Física*, Guayaquil, Equador.
- NEVES, M. C. D. (2000). Uma investigação sobre a natureza do movimento ou sobre uma história para a noção do conceito de força. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 22, no. 4, dez.
- QUADROS, O. J. (1986). *Estética da vida, da arte, da natureza*. 2ª ed. Porto Alegre. Livraria Editora Academia.
- SUASSUNA, A. (2008). *Iniciação à estética*. 9ª ed. Rio de Janeiro. Editora José Olympio.
- TALON-HUGON, C. (2009). *A estética: histórias e teorias*. Título original: *L'esthétique*. Coleção Biblioteca universal. 1ª ed. Rio de Janeiro. Edições Texto e Grafia.

