



# Kirchhoff e os fundamentos da mecânica

*Antonio Augusto PASSOS VIDEIRA*



## RESUMO

Este artigo descreve as ideias fundamentais da concepção de mecânica defendida por Kirchhoff em seu célebre tratado dedicado a essa ciência e publicado originalmente em 1876. Comenta-se também a ausência de razões dadas pelo próprio Kirchhoff em favor de suas concepções. Defendemos a hipótese de que o seu silêncio explica-se pela vontade de não produzir ou reforçar debates sobre os fundamentos da mecânica. Em outros termos, Kirchhoff cala-se para não ter que debater com os filósofos, principalmente aqueles de inspiração idealista ou hegeliana.

PALAVRAS-CHAVE • Kirchhoff. Mecânica. Metafísica. História da ciência.

## INTRODUÇÃO

Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) inicia o seu livro didático sobre mecânica (cf. Kirchhoff, 1883 [1876]), resultado das aulas dadas nas Universidades de Heidelberg e Berlim, com uma definição sobre o que considera ser esse ramo da física. Antes de apresentá-la, é importante observar que o ramo mais antigo da física, considerado como muito bem sucedido desde finais do século XVIII, ainda não possuía uma definição que fosse consensual entre os cientistas e os filósofos. Os debates e as polêmicas sobre o seu verdadeiro objetivo a acompanhavam desde o surgimento, em fins do século XVI. No início da constituição da mecânica como ramo da filosofia natural, o problema, considerado como sendo o mais grave, era aquele relacionado ao conceito de força, uma vez que o programa newtoniano fazia uso de uma noção de força a distância que não podia ser integrada ao mecanicismo, em particular, o cartesiano, que defendia que todas as forças, ou as ações, deveriam ocorrer por contato ou choque. Durante muito tempo, questionou-se a viabilidade da noção newtoniana de força. No século XVIII, outro tópico importante dizia respeito à necessidade das leis da mecânica, agora existindo como uma disciplina autônoma. As leis da mecânica são necessárias ou contingentes? Com a formulação de uma abordagem, que se pretendia puramente analítica, proposta por Lagrange em 1781 na sua obra *Mécanique analytique*, a mecânica atingiu um grau de sofisticação matemática considerável, sem que, no entanto, tivesse resolvido os pro-

blemas anteriormente mencionados. Dúvidas ainda persistiam a respeito da existência, real ou fictícia, das forças quando o século XIX começou (cf. Pulte, 2005).

Apesar disso, há uma diferença importante. Com o surgimento da mecânica analítica, foi possível a um certo número de matemáticos e físicos acatar a proposta de estudar os diferentes tipos de movimento por meio das equações diferenciais sem que fosse necessário formular hipóteses acerca dos componentes materiais dos corpos que se moviam ou mesmo ter respostas para todas as questões filosóficas e metafísicas até então dirigidas à mecânica. A investigação dividiu-se em duas grandes linhas: uma delas, a *analítica*, também chamada de racional, privilegiava a formulação de equações matemáticas; a segunda, algumas vezes chamada de *física*, não abria mão da elaboração de mecanismos físicos, subjacentes aos movimentos, e que procuravam determinar a natureza última dos objetos e fenômenos que se moviam e transformavam (cf. D'Agostino, 2000, p. 77-80).

A descrição, apresentada nos parágrafos acima, defende a tese de que o desenvolvimento da mecânica sempre foi acompanhado de discussões e debates a respeito de seus fundamentos. Esses debates não impediram que ela se desenvolvesse, alcançando domínios como a óptica, a mecânica dos fluidos e os gases. Não se deve esquecer que a teoria cinética dos gases foi compreendida, por muitos físicos importantes dentre os quais Ludwig Boltzmann e James Clerk Maxwell, como sendo uma aplicação da mecânica aos choques entre as partículas que compõem os gases. No entanto, deve ser observado que para alguns cientistas, filósofos e historiadores, a descrição oferecida não é correta, o que reforça a posição de que a mecânica, a partir da metade do século XIX, era percebida como sofrendo de dificuldades lógicas e epistemológicas sérias, a ponto de ser necessário destituí-la da sua posição de base – lógica ou heurística – da física. Vejamos, por exemplo, o que nos diz Pierre Duhem a esse respeito:

Na metade do século XIX, a mecânica racional parecia situada sobre fundamentos tão firmes e seguros como aqueles que Euclides forneceu à geometria. Segura desses princípios, ela deixava correr calmamente o desenvolvimento harmonioso de suas consequências.

O crescimento rápido, incessante, tumultuado das ciências físicas veio acabar com essa paz e perturbar essa segurança; assediada por novos problemas, a mecânica foi tomada de dúvidas a respeito das bases sobre as quais ela estava situada e retomou sua trajetória em direção a uma nova evolução” (Duhem, 1905, p. 1).

Não resta dúvida de que a descrição de Duhem é contrária à minha. Sem querer discutir as razões dessa diferença, quero apenas mencionar que Duhem era um ardoroso defensor do abandono da mecânica como base lógica e inquestionável da física.

Principalmente daquela concepção de mecânica que recorria a hipóteses e modelos atomistas. É possível, contudo, perceber alguma razão na crítica de Duhem, caso se entenda mecânica como visão mecanicista de mundo, a qual defende que a mecânica constitui a base, não apenas da física, mas de toda a ciência natural; ou ainda, o mecanicismo defende a necessidade de toda a ação física ser reduzida ao impacto entre os corpos. Em outras palavras, Duhem estava, na verdade, querendo dizer que, no meio do século XIX, o mecanicismo como visão de mundo estava sendo criticado e, para muitos, ele deveria ser inclusive abandonado, existindo já um candidato a ser seu substituto, a saber, o energetismo, o qual, é bom que se diga, era a visão preferida de Duhem, no que ele acompanhava cientistas como Wilhelm Ostwald e George Helm. Além de ser favorável ao energetismo (que afirma que o mais importante princípio de toda a ciência natural é o da conservação da energia), Duhem pretendia, na sua crítica à mecânica, excluir da ciência o recurso a modelos e hipóteses. A ciência não pode explicar os fenômenos naturais. A explicação pertence, para ele, a um outro domínio, o metafísico. Duhem era favorável à metafísica, desde que ela estivesse fora da ciência. Em suma, até o início do século XIX houve, de fato, um consenso disseminado a respeito de que, em última instância, todas as explicações ou descrições físicas devem ser remetidas, posto que incluídas, dentro da chamada visão mecanicista de mundo.

A aversão à metafísica foi esposada por muitos cientistas a partir de 1830, ano em que morre Hegel e começa um processo de revisão das relações entre as ciências naturais e a filosofia que teve profundas implicações (cf. Henneman, 1959). Ou melhor, a rejeição à metafísica, sentimento já público desde meados do século anterior, passou a desfrutar de um interesse amplo e, em certos círculos, dominante. Um dos muitos resultados desse processo revisionista conduziu à aceitação de que a física deveria preocupar-se apenas com os fenômenos naturais passíveis de serem quantificados. O propósito de dirigir a atenção e, por conseguinte, os esforços dos filósofos naturais (no século XVIII) e dos físicos (no século seguinte) para o domínio dos fenômenos considerados como passíveis de observação direta (com o uso da visão) e indireta (através de instrumentos), o que poderia provocar, como efeito desejável e positivo, o enfraquecimento das especulações metafísicas — é, como se sabe, tema que desperta muito interesse entre os historiadores e filósofos da ciência. Muito se escreveu, como ainda se escreve, sobre os métodos e os argumentos elaborados e usados pelos cientistas para mostrar que a metafísica não possui nenhuma utilidade para a prática da ciência. Em particular, os historiadores da mecânica interessaram-se por essa questão, uma vez que o desenvolvimento da mecânica ocorreu em diálogo direto e, muitas vezes, crítico com as tentativas de fundamentar filosoficamente algumas das noções e alguns dos conceitos mais caros a esse ramo da física. Entre esses conceitos, a força ocupa um lugar de destaque. A título de exemplo, é possível citar as palavras de

um historiador da ciência dos dias de hoje; trata-se de J. Christiann Boudri. Vejamos o que ele diz:

(...) o conceito de força é particularmente adequado para a articulação de pressupostos metafísicos. Até bem tarde no século XVIII, o conceito de força era aplicado a muitos fenômenos diferentes, os quais seriam, posteriormente, distinguidos como energia, peso, momento, entre outros (...) isso não era resultado de pensamento confuso, mas, sim, era devido ao fato de que as semelhanças eram muito mais claras do que as diferenças. Existia uma unidade subjacente aos vários sentidos e essa unidade havia sido herdada do conceito de força substancial do escolasticismo (Boudri, 2002, p. 4).

Ainda segundo Boudri, pelo menos no que concerne ao desenvolvimento da mecânica no século XVIII, desconsiderar uma função positiva e construtiva da metafísica gera resultados indesejados, uma vez que muito das tentativas de descobrir os segredos da natureza — expressão comum naquele período — deram-se em solo metafísico no qual a ciência deita as suas raízes.

A atitude de Boudri favorável a uma contribuição da metafísica à mecânica, em que pese estar restrita aos séculos XVII e XVIII, não pode ser entendida como constituindo a posição majoritária entre os especialistas. Para muitos comentadores, a aversão à metafísica foi o germe fundador do positivismo, o qual teria sido aceito e incorporado pela maioria da comunidade científica daquela época, e desenvolvido, na verdade, a partir dos primeiros anos do século XX, por Mach, Kirchhoff, Duhem, Helmholtz, todos eles antimetafísicos (cf. Videira, 2009, 2011). Essa descrição não me parece correta, nem que seja pelo fato de que inclui em um mesmo universo conceitual uma série de cientistas muito diferentes entre si. Ou seja, tomá-los por positivistas pura e simplesmente cria uma homogeneidade que não se sustenta de maneira alguma quando se leem os seus textos científicos e filosóficos. Como se sabe, é tarefa arriscada empregar os rótulos oriundos de escolas filosóficas para compreender os pensamentos epistemológicos, metodológicos e metafísicos dos cientistas, nos quais é raro encontrarmos o mesmo rigor e a mesma coerência (isto é, respeito) a um mesmo e único pensamento. Assim, parecem-me exageradas as palavras do filósofo e jurista teuto-americano J. B. Stallo publicadas em 1882, ano em que é publicada a sua obra mais importante, traduzida para o alemão em 1900, quando recebe um prefácio de Mach.

Com poucas exceções, os homens de ciência dos dias atuais sustentam que a afirmação “toda a ação física é mecânica” é axiomática, se não no sentido de ser auto-evidente, ao menos no sentido de ser [o resultado] de uma indução [formulada] a

partir de todas as experiências científicas passadas. E eles julgam ser a validade da explicação mecânica dos fenômenos, não apenas inquestionável, mas absoluta, excludente e definitiva (Stallo, 1900 [1882], p. 23).

No momento em que Stallo escreve as palavras acima já era inquestionável a presença no interior da física de um debate a respeito da posição ocupada pela mecânica. É certo que esse debate tornou-se mais intenso e conhecido a partir da década seguinte quando nomes como Mach, Boltzmann, Hertz, Helmholtz e Ostwald debruçaram-se sobre essa questão. No entanto, o eletromagnetismo já atraía a atenção e os esforços de muitos físicos, de modo que as dificuldades de compreensão dos fenômenos elétricos e magnéticos em termos mecânicos conduziam ao questionamento de se a mecânica seria capaz de interpretá-los. Nas palavras de Boltzmann,

Só há pouco tempo [passagem do século XIX para o seguinte] surgiu uma reação contrária a tudo isso [aceitar a mecânica como sendo a base da física]. As dificuldades decorrentes da explicação meramente mecânica do magnetismo e da eletricidade permitiram que se levantassem dúvidas se tudo seria explicável mecanicamente, ganhando o eletromagnetismo cada vez mais importância, não apenas para a prática, mas também para a teoria. Finalmente, ele chegou a ser tão poderoso, que os papéis foram invertidos, procurando-se explicar a mecânica de forma eletromagnética. Anteriormente se procurava explicar o magnetismo e a eletricidade pelo movimento dos corpos (Boltzmann, 2005, p. 151).

Ainda assim, pode-se perceber uma dose de positivismo em quase todos eles, desde que seja realizada uma reavaliação do que se entende por isso. Quanto a mim, a descrição de Hans Sachsse parece-me equilibrada e exata: “não tanto como um princípio filosófico geral, mas mais como uma máxima prática, o positivismo desempenhou um papel enorme no desenvolvimento das ciências exatas no século XIX” (Sachsse, 1967, p. 74).

As palavras de Sachsse significam que os cientistas do século XIX tornaram-se muito mais cautelosos e prudentes quanto ao uso de concepções relativas às causas e às estruturas da natureza. Não se deve esquecer, como faz Duhem, que no século XIX a física começa a estudar consistentemente uma série de fenômenos que não podiam ser observados. A novidade e a especificidade desses mesmos fenômenos faz com que as discussões ontológicas passem a ser consideradas seriamente somente se for obedecido o critério de cautela que impede a formulação de hipóteses que não possam ser submetidas ao crivo da experiência. Por exemplo, Helmholtz, que no início da sua carreira, em 1847, clara e decididamente era favorável a uma ontologia mecanicista, décadas

depois, mostrava-se cauteloso, afirmando preferir — ainda que sem muita convicção — o uso de equações diferenciais. Um exemplo interessante dessa posição é o prefácio que Helmholtz escreveu para o seu curso de introdução à física, publicado em 1903, alguns anos após a sua morte (cf. Helmholtz, 1984). Talvez o mais acertado a dizer, sob uma perspectiva historiográfica, seja que os físicos, em geral, comportaram-se ambigualmente. Ora eles defendiam uma posição mais próxima de um mecanicismo puro, ora afastavam-se dele, em direção a uma postura positivista ou fenomenológica.

Com relação à unanimidade “filosófica” entre os cientistas do século XIX pouco se pode dizer. Entre eles, predominou a multiplicidade de opiniões, como seria de esperar em se tratando de filosofia. No entanto, algumas teses, principalmente as formuladas em termos genéricos, foram aceitas pela maioria deles. Uma dessas teses afirma que a ciência evolui, ela se transforma, de um modo tal que é impossível saber como exatamente esse processo acontece. O processo de desenvolvimento da ciência não parece seguir um mesmo conjunto de regras ou leis. Acreditar que a ciência progrediria sempre seguindo uma mesma “trajetória” seria abraçar uma tese metafísica insustentável e que havia sofrido um sério revés com as transformações da ciência. Se conclusão há, ela é a seguinte: a ciência se transforma. Com relação ao modo como isso se dá, pouco se pode então dizer (cf. Miguel & Videira, 2008).

## I KIRCHHOFF E O OBJETIVO DA MECÂNICA

Retornemos, contudo, a Kirchhoff, que parece ter sido um dos poucos físicos importantes do século XIX a não se interessar, pelo menos, explicitamente, por discussões filosóficas. Com esse comportamento, foi mais fácil para ele manter-se fiel a uma mesma posição. Sua definição é clara, afirmativa e direta, reproduzindo o espírito que o físico alemão gostaria de ver imperar na sua ciência. Ele a define, fixando o seu objetivo. Assim, a mecânica não é alguma coisa; ela é o que realiza. Em outros termos, a mecânica seria uma estrutura (emprego este termo sem relacioná-lo às posições estruturalistas comuns à filosofia do século passado), organizada a partir do emprego da linguagem matemática, capaz de oferecer descrições rigorosas, exatas e quantificáveis do movimento, o qual passa a ser mais importante do que aquilo que se movimenta. Trata-se, podemos supor, de uma definição funcionalista.

De acordo com as normas acadêmicas que começavam a consolidar-se na passagem da primeira metade do século XIX para a seguinte, os catedráticos de física, em particular, aqueles responsáveis pela física teórica, deviam oferecer um ciclo de preleções em quatro semestres, durante os quais era oferecido aos estudantes todo o conteúdo então conhecido da física. Kirchhoff respeita essa regra e escreve quatro volu-

mes dedicados à apresentação de suas aulas. Nem todos foram publicados por ele mesmo. Um deles, aquele que abordava a teoria do calor, foi publicado postumamente por seu sucessor em Berlim, Max Planck. Em todos esses volumes, Kirchhoff seguiu um mesmo princípio, o qual, nas palavras de Hiebert, pode ser descrito como um ponto de vista fenomenológico: “as amplas preleções de Kirchhoff sobre a física matemática são um símbolo vivo de uma física unitária autoconsistente [elaborada] a partir de um ponto de vista fenomenológico” (Hiebert, 1990, p. 245).

Ao definir o objetivo da mecânica, Kirchhoff o faz de um tal modo que sua definição cumpre o papel de uma qualificação. Sem as qualificações dadas por Kirchhoff, a definição de mecânica ficaria incompleta e, portanto, incompreensível. De acordo com a caracterização avançada, existem modos mais adequados do que outros para o cumprimento do objetivo proposto. Em suas palavras:

A mecânica é a ciência do movimento; nós lhe atribuímos o seguinte objetivo: descrever, *completamente e da maneira a mais simples possível*, os movimentos produzidos na natureza.

O movimento é uma mudança de posição no tempo; aquilo que se move é a matéria. Para conceber um movimento, as noções de espaço, tempo e matéria são não apenas necessárias, mas são também suficientes. É através dessas noções que a mecânica deve procurar alcançar o seu objetivo e é com elas que ela deve construir os conceitos auxiliares, que lhes são necessários para isso, por exemplo, os conceitos de força e massa.

A descrição dos movimentos deve ser *completa*. O significado dessa condição é perfeitamente claro: a mecânica não deve deixar sem resposta nenhuma das questões que são formuladas a respeito do movimento. Menos preciso é o significado da segunda condição, aquela que exige que a descrição seja a *mais simples possível*. É plausível conceber *a priori* dúvidas a respeito da questão de saber-se qual é a descrição mais simples de certos fenômenos; pode-se igualmente imaginar que uma descrição de certos fenômenos, hoje em dia, considerada como a mais simples dentre aquelas possíveis, será substituída mais tarde por uma outra ainda mais simples, devido ao desenvolvimento da ciência. Que uma tal circunstância se produza, a história da mecânica fornece [-nos] numerosos exemplos (Kirchhoff *apud* Jouguet, 2007 [1927], p. 88-9, grifos no original).

A tentativa de Kirchhoff em favor da eliminação do conceito de força como um dos pilares da mecânica não foi completamente original no momento em que veio à luz. Outras tentativas foram levadas a cabo antes dele, sendo uma das mais conhecidas aquela de autoria de Jean le Rond d’Alembert, o qual publicou em 1743 um livro que

faria história no desenvolvimento da mecânica e que foi intitulado *Traité de mécanique*. Sem vincular d'Alembert a Kirchhoff, René Dugas, em seu livro sobre a história da mecânica, afirma o seguinte: “D'Alembert, ele próprio, não estava diretamente envolvido na polêmica sobre o princípio de mínima ação (...) Mas, ele condenou completamente a intervenção de causas finais nos princípios da mecânica” (Dugas, 1988, p. 269). Sua condenação foi vista como sendo uma inclinação em favor do empirismo e, desse modo, contrária à metafísica. Não obstante a força dessa posição interpretativa, ela merece ser pelo menos amenizada, uma vez que o filósofo francês mais do que contrário à metafísica, era, em verdade, favorável à sua purificação, o que corresponderia à eliminação daqueles conceitos que não possuíam uma base nas ideias claras (cf. Boudri, 2002, p. 112; Videira, 2000).

Na definição de Kirchhoff, chama a nossa atenção a sua exigência de que a mecânica seja capaz de responder a todas as questões que ela mesma formula. Questões que não podem ser respondidas não pertencem aos domínios das ciências naturais. Como é bem conhecido, essa posição a respeito da capacidade de responder, isto é, de solucionar problemas, integrou o núcleo do chamado positivismo lógico no século xx. A capacidade de formular respostas dependeria diretamente da possibilidade de serem realizadas verificações experimentais ou, ao menos, de respeitar-se aquilo que é observado.

Ao exigir completude e simplicidade nas descrições dos movimentos naturais, Kirchhoff parece pressupor a existência de um pluralismo (multiplicidade) nas descrições pertencentes ao domínio da mecânica. Sem dizer se considera positivo um tal pluralismo, Kirchhoff, entretanto, toma a sua existência como um fato, isto é, como uma situação que efetivamente se dá. No entanto, essa situação deve sofrer algum tipo de correção. Ela é indesejável, uma vez que sempre se pode escolher, ao final de um processo finito, uma descrição mais simples do que todas as demais. O pluralismo, em outras palavras, parece ter sido obra das diversas tentativas feitas pelos filósofos naturais, pelos geômetras e pelos físicos para descrever os princípios e as leis daquela que era a base da física em meados da década de 1870, época em que saiu publicada a primeira edição do livro de Kirchhoff. Mais precisamente, o livro de Kirchhoff sobre a mecânica foi publicado em 1876.

Antes de continuarmos a analisar a definição dada à mecânica por Kirchhoff, é importante mencionar que ele, em 1865, onze anos antes de publicar tal declaração, afirmou que o objetivo da mecânica era o determinar os movimentos dos corpos quando as suas causas são conhecidas. Ou seja, a descrição dos movimentos dos corpos naturais exige o conhecimento das causas, o que é necessário para transformá-la em uma explicação. Em suma, a posição de Kirchhoff em 1865, a qual pode ser genericamente qualificada de laplaciana, era muito mais próxima da tradição que imperava desde o final do século xviii do que aquela que defenderá a partir da década seguinte, que con-



cordava que a visão de mundo da ciência natural é mecanicista. Mesmo que nesse momento ele ainda não tivesse abandonado a tese de que a força e a causa são a mesma coisa, Kirchhoff já defendia que as proposições da mecânica deviam ser consideradas como possuindo o mesmo grau de certeza que aquelas existentes no domínio da geometria. Segundo ele:

A mecânica assemelha-se bastante à geometria; ambas as ciências são aplicações da matemática pura; as proposições de ambas estão, no que diz respeito às suas certezas, no mesmo plano; às proposições mecânicas deve ser atribuída, com o mesmo direito, a mesma certeza [*Gewissheit*], que [se atribui] às proposições geométricas (Kirchhoff *apud* Pulte, 2005, p. 68).

Até onde vai o meu conhecimento, Kirchhoff nunca se pronunciou publicamente acerca das razões que o fizeram mudar radicalmente de perspectiva. Nesse aspecto, o seu comportamento diferiu radicalmente da maioria de seus colegas alemães e austríacos, quase todos contumazes produtores de discursos filosóficos para os seus pares e mesmo para os leigos. Em que pese o seu silêncio sobre as razões das transformações sofridas pelo seu pensamento, a definição de Kirchhoff foi rapidamente adotada pelos seus colegas a ponto de se tornar posição oficial.

O discurso de Kirchhoff, no qual ele defendeu um ideal laplaciano para a mecânica, foi proferido em 1865, em cumprimento a uma obrigação acadêmica quando ele assumiu a reitoria da Universidade de Heidelberg. Todo reitor de uma universidade alemã deveria fazer um discurso aberto sobre um tema de interesse para a comunidade universitária, o qual era escolhido a partir da sua própria área de atuação. Seguindo o costume comum em sua época, Kirchhoff dissertou sobre os fins e objetivos das ciências naturais.

Tomando como base para as nossas inferências a descrição que Boltzmann faz da sua personalidade e o tipo de trabalho que ele realizou em ciência, tudo leva a crer que a mudança de posição por parte de Kirchhoff baseou-se em uma decisão pessoal, tomada a partir, muito provavelmente, das dificuldades que viveu como professor da disciplina. No discurso que pronunciou em 1888 para homenagear o colega, falecido no ano anterior, Boltzmann, após ter lembrado que Kirchhoff aprendeu física com Franz Neumann, um dos primeiros físicos alemães a privilegiar a matemática contra a especulação, descreve-o com as seguintes palavras:

Ele caracterizava-se pela extrema precisão das hipóteses, [pela] bela incisão e pelo desenvolvimento épico de consequências férreas sem que se calasse a respeito de qualquer dificuldade (Boltzmann, 1905, p. 74).

De acordo com pelo menos um princípio da atual historiografia, é interessante procurar compreender se a influência exercida por Neumann sobre Kirchhoff pode explicar a origem de suas ideias sobre a mecânica. No entanto, pouco se sabe sobre a relação entre os dois. Segundo Jungnickel e McCormmach, Kirchhoff decidiu-se por uma carreira em física após ter aventado a possibilidade de optar pela química, tendo em vista que a sua experiência com tal ciência limitara-se à realização de medidas entediantes, seguidas de cálculos ainda mais entediantes. A prática de ensino adotada por Neumann privilegiava os seminários, onde grupos de estudantes eram estimulados a procurar, independentemente, as soluções para os problemas dados pelos seus professores. Em geral, a matemática ensinada na maioria dos seminários das universidades alemãs não era muito complexa; sua presença era necessária para a formulação de leis coordenando entre si os resultados experimentais. Neumann era uma exceção. Sua inclinação pela matemática tornou-se mais evidente depois que ele não conseguiu obter os recursos financeiros estatais necessários para organizar um laboratório de física (cf. Jungnickel & McCormmach, 1986, p. 85-9).

A mesma caracterização, isto é, seguindo o mesmo espírito da descrição oferecida por Boltzmann, é apresentada pelo físico belga Leon Rosenfeld muitos anos mais tarde. No verbete que escreve para o *Dictionary of scientific biography*, Rosenfeld afirma que Kirchhoff era “um mestre na análise matemática dos fenômenos, [insistindo] na formulação lógica precisa dos conceitos e das relações físicas, diretamente fundada na observação e conduzindo a sistemas coerentes, livres de elementos hipotéticos” (Rosenfeld, 1973, p. 379).

No prefácio que escreve para a sua *Mecânica*, Kirchhoff menciona essa mesma dificuldade, a saber: distinguir entre aquilo que era derivado da experiência daquilo que não era. Segundo relatos de vários outros físicos do período, os estudantes, em geral, tinham muita dificuldade em compreender as bases da mecânica. Um exemplo dessas dificuldades é dado por Picard em um artigo publicado em 1904, no qual defende a perspectiva histórica, como aquela presente na célebre obra de Mach, publicada em 1883, para o ensino dos conteúdos científicos e epistemológicos da mecânica.

De todo modo, Kirchhoff atribui a responsabilidade pela ausência de clareza e inteligibilidade à definição tradicional da mecânica, a qual deveria obrigatoriamente reorganizar-se a fim de ser menos vulnerável às críticas. Com efeito, não havia consenso em como definir a mecânica, as definições variavam segundo os autores, fazendo valer aquela máxima popular “cada cabeça uma sentença”. A falta de clareza era percebida, por exemplo, na existência de diferentes opiniões a respeito de problemas tais como o de saber se a lei da inércia e a lei dos paralelogramos são derivadas da experiência ou constituem somente axiomas. Incomodado com essas dificuldades, Kirchhoff reformula a definição de mecânica, tornando-a mais restrita, uma vez que ela não se

preocupava com a determinação das causas, até então confundidas com as forças atuantes entre os corpos físicos. Essa restrição, acreditava ele, solucionaria o problema da falta de clareza que assolava os métodos e as soluções da mecânica, dado que, explícita e deliberadamente, a noção de causa, mais especificamente, aquela que identifica causa e força, era excluída do *corpus* da mecânica.

Ao menos no que diz respeito ao livro em que oferece a sua nova definição de mecânica, Kirchhoff não apresenta nenhuma justificativa, o que o coloca em posição contrária a Hertz, que, por exemplo, escreve uma introdução que se torna célebre e na qual descreve detalhadamente os critérios que deveriam ser usados na avaliação das imagens da mecânica. Como ele não produziu as chamadas “conferências populares”, a exemplo de Helmholtz, Mach e Boltzmann, torna-se tarefa extremamente difícil determinar as suas razões. É igualmente possível que Kirchhoff seguisse um certo espírito prevalecente entre os seus colegas cientistas de sua época, cuja recusa à metafísica, independentemente de qual fosse a sua matiz (materialista, espiritualista, idealista etc.), já era notória na passagem da primeira para a segunda metade do século XIX (cf. Schnädelbach, 1999 [1984], p. 131-7). De todo modo, tudo leva a crer que ele passa a defender indiretamente a tese de que os resultados obtidos a partir da nova definição seriam capazes de justificá-la. A capacidade de resolver problemas é o argumento final em favor da sua concepção. Em outras palavras, os fins justificam os meios.

Implicitamente, parece-me que Kirchhoff mostra ter consciência e, mais importante, aquiescer com o movimento que a física realizava em meados do século XIX. Por essa época, a física já lidava com fenômenos que não eram e nem poderiam ser diretamente percebidos pelos órgãos sensoriais humanos. Reconhecendo que não seria possível retroceder nesse desdobramento, Kirchhoff sugere que sejam feitos avanços com cautela. Para que isso possa acontecer, é preciso conhecer os caminhos a serem trilhados, o que, no caso em que eles são desconhecidos, somente pode tornar-se uma realidade quando sejam usados instrumentos adequados e seguros. No caso da física, esse instrumentos são a aparelhagem existente nos laboratórios e as equações matemáticas.

Se as equações matemáticas conseguissem atingir o objetivo proposto, a saber, descrever completa e simplesmente os movimentos dos corpos materiais, isso ocorreria em função *apenas* da escolha inicial dos termos primitivos. Não seria, assim, necessário buscar outras explicações. Segundo o mesmo Boltzmann, o “método” de Kirchhoff pode ser descrito assim:

O objetivo [das ciências naturais] não é representar hipóteses ousadas sobre a essência da matéria e não é adivinhar, a partir do movimento das moléculas, o movimento dos corpos, mas, sim, formular equações, que são livres de hipóte-

ses, que correspondem da maneira a mais fiel e exata do ponto de vista quantitativo aos fenômenos naturais (Boltzmann, 1905, p. 70).

No que diz respeito aos argumentos (critérios) necessários para saber quando as descrições mecânicas são mais simples e completas, Kirchhoff não foi claro o suficiente, já que permaneceram dúvidas com relação a como compreender exatamente esses qualificativos. Completude, segundo ele, como mencionado anteriormente, somente poderia ser alcançada quando todas as questões fossem respondidas. Contudo, ele não diz nada a respeito do que considera ser uma resposta aceitável. Muito provavelmente, seria uma quantidade numérica extraída de um cálculo matemático. Para o caso da simplicidade, tal como reconhecido pelo nosso autor, a situação é ainda mais espinhosa. Aparentemente, ela somente seria esclarecida adequadamente quando fossem comparadas ao menos duas descrições do mesmo movimento.

## CONCLUSÃO

Com a sua definição de mecânica, Kirchhoff pretendia eliminar da física aquelas questões que não podiam ser respondidas com os métodos usuais dessa ciência. Entre os seus alvos, encontrava-se a metafísica, aqui entendida como o discurso sobre a natureza construído a partir de princípios *a priori*, portanto, formulados independentemente do uso de dados empíricos.

A proposta de Kirchhoff passou para a história como sendo um tipo de fenomenologia. Para Boltzmann, que não a aceitava, um tipo de fenomenologia matemática, já que se baseava no uso intensivo de equações diferenciais. Mesmo as descrições, que deveriam substituir as explicações, somente seriam alcançáveis se houvesse, por parte dos cientistas, um trabalho necessário e incontornável de ir além daquilo que é dado pela observação dos fenômenos naturais, já que não se pode afirmar que estes últimos impõem o modo pelo qual eles devem ser representados. Como afirma Helmholtz na década de 1860, a natureza do signo é diferente do objeto que designa.

Apesar da falta de clareza com relações aos motivos pelos quais Kirchhoff defende tal concepção de mecânica, suas ideias foram imediatamente aceitas e espalharam-se, fazendo do seu livro uma referência obrigatória para todos aqueles que estudavam ou ensinavam essa disciplina. Aparentemente, o seu prestígio como físico contribuiu em muito para que a sua definição do objetivo da mecânica fosse disseminada, tornando-se uma fonte de inspiração.

Se a ausência de razões em favor da sua concepção da mecânica parece ser devida à pouca vontade de Kirchhoff em envolver-se em debates filosóficos, pode-se afirmar

que, no que diz respeito à sua própria pessoa, Kirchhoff foi feliz. Contudo, se ele pretendia dar fim às discussões em torno dos fundamentos da mecânica, seu objetivo não foi realizado. Ao contrário, a partir da publicação da sua obra, esses debates e polêmicas ganharam força e só diminuíram em intensidade nos primeiros anos do século xx, época em que se tornou regra geral acreditar que as teorias físicas nada mais são do que modelos. Essa visão favorável aos modelos pode ser compreendida como constituindo uma posição intermediária entre os polos extremos das discussões epistemológicas da segunda metade do século xix, que dividiram a comunidade dos físicos entre os que defendiam que as teorias físicas são explicações e aqueles outros que preferiam pensar que elas são apenas descrições dos fenômenos naturais.☞

AGRADECIMENTOS. Esta pesquisa contou com o apoio financeiro de uma bolsa de produtividade (nível 2) do CNPq. Parte dela foi realizada nos Archives Henri Poincaré do CNRS e Universidade de Nancy 2 (França). Agradeço a essas instituições o apoio recebido. Gostaria igualmente de agradecer os comentários pertinentes de Osvaldo Pessoa Jr. (USP) e Rogério Tolfo (UESC), que contribuíram para o aperfeiçoamento deste texto.

*Antonio Augusto* PASSOS VIDEIRA

Professor Doutor do Departamento de Filosofia,

Instituto de Filosofia e Ciências Humanas,

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

*guto@cbpf.br*

#### ABSTRACT

This article describes the most important ideas of Kirchhoff's conception of mechanics as he formulated it in the first edition of his famous treatise on this science, published in 1876. It also discusses why Kirchhoff did not explicitly present arguments in favor of his conception, and argues that his silence can be explained by his refusal to take part in debates on the foundations of mechanics. In other words, Kirchhoff kept silent because he did not want to engage in discussion with philosophers, especially those inspired by Idealism or Hegelianism.

KEYWORDS • Kirchhoff. Mechanics. Metaphysics. History of science.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLTZMANN, L. *Populäre Schriften*. Leipzig: Barth, 1905.
- . *Escritos populares*. Seleção, tradução e apresentação A. A. P. Videira. São Leopoldo: Unisinos, 2005.
- BOUDRI, J. C. *What was mechanical about mechanics – the concept of force between metaphysics and mechanics from Newton to Lagrange*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- D'AGOSTINO, S. *A history of the ideas theoretical physics – essays on the nineteenth and twentieth century physics*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- DUGAS, R. *History of mechanics*. New York: Dover, 1988.
- DUHEM, P. *L'évolution de la mécanique*. Paris: Hermann, 1905.
- FITAS, A. J. S. (Org.). *Seminário sobre o cartesianismo*. Évora: Universidade de Évora, 2000.
- GILLISPIE, C. C. (Ed.). *Dictionary of scientific biography*. New York: Charles Scribner's Sons, 1973. v. 7.
- HELMHOLTZ, H. V. Einleitung zu den Vorlesungen über Theoretische Physik In: ROMPE, R. & TREDER, H. J. (Ed.). *Zur Grundlegung der theoretischen Physik*. Berlin: Akademie Verlag, 1984. p. 11-62.
- HENNEMAN, G. *Naturphilosophie im 19. Jahrhundert*. Freiburg/München: Verlag Kark Albert, 1959.
- HIEBERT, E. The transformation of physics. In: TEICH, M. & PORTER, R. (Ed.). *Fin de siècle and its legacy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. p. 235-53.
- JOUGUET, E. *Lectures de mécanique enseignée par les auteurs originaux*. Paris: Éditions Jaques Gabay, 2007 [1927].
- JUNGNICKEL, C. & McCORMMACH, R. *Intellectual mastery of the university – theoretical physics from Ohm to Einstein*. Chicago: The University of Chicago Press, 1986. v. 1.
- KIRCHHOFF, G. R. *Vorlesungen über mathematische Physik – Mechanik*. 3 ed. Leipzig: Teubner, 1883 [1876].
- MIGUEL, L. R. & VIDEIRA, A. A. P. A ideia de evolução como ponte entre ciência, história e filosofia. *Ciência & Ambiente*, 36, p. 71-85, 2008.
- PICARD, E. Les principes de la mécanique – à propos d'un livre de M. Mach. *Révue Générale des Sciences*, 15, p. 1063-6, 1904.
- PULTE, H. *Axiomatik und Empirie – Eine wissenschaftstheoriegeschichtliche Untersuchung zur Mathematischen Naturphilosophie von Newton bis Neumann*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2005.
- ROMPE, R. & TREDER, H. J. (Ed.). *Zur Grundlegung der theoretischen Physik*. Berlin: Akademie Verlag, 1984.
- ROSENFELD, L. Kirchhoff, Gustav Robert. In: GILLISPIE, C. C. (Ed.). *Dictionary of scientific biography*. New York: Charles Scribner's Sons, 1973. v. 7, p. 379-83.
- SACHSSE, H. *Naturerkenntnis und Wirklichkeit*. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1967.
- SCHNÄDELBACH, H. *Philosophie in Deutschland 1833-1933*. Frankfurt: Suhrkamp, 1999 [1984].
- STALLO, J. B. *The concepts and theories of modern physics*. 4 ed. London: Kegan Paul/Trench/Trübner, 1900 [1882].
- TEICH, M. & PORTER, R. (Ed.). *Fin de siècle and its legacy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- VIDEIRA, A. A. P. Que papel atribuir à metafísica? Breves reflexões sobre os pensamentos de Descartes a Newton à luz de sua recepção pelo iluminismo francês. In: FITAS, A. J. S. (Org.). *Seminário sobre o cartesianismo*. Évora: Universidade de Évora, 2000. p. 75-103.
- . O naturalismo como atitude: Mach em disputa com a metafísica. *Principia*, 13, p. 371-84, 2009.
- . *A defesa da universidade alemã como solução para a superação da cisão entre as ciências e a vida: Hermann von Helmholtz, Goethe e a popularização da ciência*. Rio de Janeiro: CBPF, 2011. (Série Ciência & Sociedade). Disponível em: <[http://cbpfindex.cbpf.br/publication\\_pdfs/cso0411.2011\\_02\\_10\\_10\\_52\\_04.pdf](http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/cso0411.2011_02_10_10_52_04.pdf)>. Acessado em: nov. 2011.