

# AS VISÕES FÍSICA E EPISTEMOLÓGICA DE HERTZ E SUAS REPERCUSSÕES

ILDEU DE CASTRO MOREIRA

*RESUMO: O presente artigo discute a crítica epistemológica elaborada por Hertz aos sistemas Newtonianos e energético; sistemas que, cada um a seu modo, procuraram fundamentar a mecânica clássica. Além disso, pretendemos analisar as possíveis relações existentes entre a visão Hertziana da mecânica clássica e seus outros trabalhos em física. Finalmente, contrapomos o pensamento de Hertz a de alguns de seus contemporâneos como Poincaré, Mach e Boltzmann.*

*ABSTRACT: This article discuss the epistemological criticism used by Hertz for the analysis of the Newtonian and energetics representations of classical mechanics. We presents also some relationships, which can be conjectured, between Hertzian representation of classical mechanics and his own work in physics. Finally, we confront Hertz's ideas with the epistemological thinking of Mach, Boltzmann and Poincaré.*

Vários fatores influenciaram as tentativas de revisão da mecânica clássica no final do século XIX. Entre eles podem ser citados: a introdução de conceito de energia; a busca de uma descrição mecânica para os fenômenos eletromagnéticos; a procura de uma conciliação da termodinâmica com a mecânica, onde a explicação da segunda lei em termos mecânicos era um obstáculo significativo; a construção de uma estrutura teórica para a mecânica que fosse logicamente mais perfeita e livre de alguns problemas já identificados por Kirchoff e Mach e, finalmente, a tentativa de compatibilizar a visão mecanicista com o desenvolvimento dos estudos sobre os seres vivos. Diante desse quadro, os mecanicistas mais destacados são forçados a rever e a refinar suas posições.

Esse é também um momento histórico particular, que se estende de meados do século XIX até os albores do século XX, onde se procede a uma extensa revisão das concepções referentes à ciência. Até aquele momento, a busca de uma explicação mecânica para todos os fenômenos naturais era geralmente aceita como possível. A partir daí, surge a dúvida quanto a possível realização e quanto ao interesse de tal programa. Com a emergência das teorias evolucionistas e no bojo da crise da mecânica clássica que se avizinhava, muitos cientistas, aqueles dotados da sensibilidade e intuição para perceberem os primeiros sinais da tormenta, vão se preocupar em refletir, coisa rara no desenvolvimento "normal" da ciência, com a maneira como as teorias científicas são criadas, testadas e validadas e com o papel da experiência e da atividade teórica. É um momento em que pode ser percebido o aparecimento de *cientistas-filósofos*, entre os quais se destacam particularmente Hertz, Boltzmann, Duhem e Poincaré. Suas idéias e concepções epistemológicas vão influenciar e serem influenciadas de volta pelos problemas que abordam e pelos modelos e teorias que desenvolvem. As razões apontadas acima, e outras mais, explicam esta atividade intensa naquele período de revisão científica e de reflexão profunda sobre as próprias bases e o significado do fazer científico.

Em particular, Hertz (1857-1894) irá fazer talvez a tentativa mais ambiciosa de unificação da descrição mecânica da natureza. Algum tempo depois, Poincaré, confrontado, em acréscimo, com os novos resultados experimentais, como a descoberta da radioatividade e o experimento de Michelson sobre a independência da velocidade da luz em relação ao movimento de Terra no suposto éter, fará análises abrangentes sobre as dificuldades dos diversos sistemas da mecânica clássica e sobre a possibilidade de sua superação.

Uma correlação entre o trabalho científico de Hertz e suas análises meta-científicas foi discutida, conjuntamente com P. Abrantes em trabalhos apresentados no [1] e [2]. A exposição de Abrantes encontra-se publicada em [3]. Abordaremos aqui, de forma sintética, a crítica de Hertz aos dois sistemas clássicos, o newtoniano e o energético, sua proposta de uma nova forma para a mecânica, a repercussão dessa construção e possíveis influências de seus trabalhos. Estaremos basicamente interessados nas suas relações com alguns cientistas dele contemporâneos, como Boltzmann e Mach, ou que o sucedem imediatamente, como Poincaré, Planck e Einstein. Tocaremos, de passagem e comparativamente, nas visões desses cientistas sobre as teorias físicas e seus critérios de aceitação e validação.

Iniciemos com Hertz. De início, demarquemos algumas influências significativas sobre suas idéias e sua obra científica. Kirchnoff certamente tem aqui um lugar, com sua proposta pioneira de reconstrução lógica da mecânica. Para isso advoga a simplicidade das leis físicas, dá destaque aos princípios variacionais e utiliza como noções mecânicas básicas a distância (comprimento), o tempo e a massa, referidas nas suas unidades L, T e M. Em Helmholtz, mestre de Hertz e que sobre ele exerce poderosa influência, registra-se uma tendência neo-kantiana clara, o destaque à discussão sobre o significado do conhecimento e as teorias científicas, a importância dos princípios gerais para a física, em particular o princípio de Hamilton, a construção de modelos mecânicos subjacentes para a termodinâmica, como os chamados sistemas monocíclicos, e seus trabalhos sobre as sensações e a percepção física. Outros personagens, cujas idéias repercutem sobre Hertz, através da criação de modelos mecânicos, são Maxwell, Lesage e Kelvin.

As críticas de Hertz aos sistemas mecânicos conhecidos em sua época, e que serão retomadas similarmente por Poincaré, são sintetizadas abaixo, de maneira simplificada.

### 1) Crítica ao sistema clássico newtoniano

A noção de força não satisfaz ao critério de Hertz de adequação e simplicidade da teoria (o terceiro, confira Apêndice). Trata-se, para ele, de uma engrenagem extra da descrição mecânica, confusa e supérflua; a mecânica de Newton é um sistema sobredeterminado, ou seja, suas equações que descrevem os fenômenos físicos admitem muitos movimentos não naturais, como, por exemplo, movimentos que não conservam a energia.

### 2) Crítica ao sistema energético.

Surgem aqui problemas com o significado da energia: como distinguir, no caso geral, os dois tipos (cinética e potencial) e onde “situar” a energia potencial. Além disso, o princípio de Hamilton não se aplica, em geral, a sistemas irreversíveis e a sistemas não-holonômicos e possui um caráter teleológico complicador. Apresenta, no entanto, algumas vantagens em relação ao sistema clássico: é menos sobredeterminado e dispensa a hipótese da existência de átomos.

Em face dessas dificuldades dos dois grandes sistemas mecânicos, Hertz irá propor um novo sistema que tenta superá-las, ou pelo menos mitigá-las, e que esteja de acordo com os critérios que as teorias científicas devem satisfazer, segundo sua visão. Seu sistema, contido no livro *Os princípios da mecânica apresentados em uma nova forma* [4], publicado postumamente em 1894, irá eliminar a força, um dos entraves mais sérios que identificava no sistema clássico. Para que isso possa ocorrer introduzirá sistemas com vínculos e suporá a existência de massas ocultas por trás de todos os fenômenos naturais. Sua lei de movimento fundamental se torna: *cada sistema livre persiste em seu estado de repouso ou de movimento na trajetória mais “reta”*. Essa lei pode ser expressa de outras maneiras: como um princípio de aceleração mínima ou na forma do princípio de Gauss dos mínimos quadrados. A segunda lei de Newton é substituída por uma forma generalizada da primeira lei, que valerá mesmo para os casos onde houver interação. Trata-se de um princípio variacional local, ao contrário do princípio de Hamilton que possui caráter global. De acordo com o grau de complexidade envolvido, Hertz irá estabelecer também um tipo de hierarquia dos sistemas: sistemas livres, onde a aplicação de sua lei é imediata; sistemas “adaptáveis”, onde é necessária para a descrição a introdução de massas ocultas; sistemas vivos, que não podem ser representados diretamente no seu modelo, mas para os quais a hipótese é “permissível”.

A idéia de Hertz, com esse novo princípio, era superar a noção de força e para isso aproveita-se de uma modificação dos princípios variacionais, que o atraíam fortemente, tornando-os locais e imunes à crítica de carregarem uma concepção teleológica. As dificuldades do sistema energético, no que se refere

à estranheza do conceito de energia potencial, são aqui superadas pela introdução das massas ocultas. O preço a pagar é, conceitualmente, a introdução de objetos físicos não mensuráveis, as massas ocultas. Na justificativa para introduzi-las, Hertz assim se expressa: "Se tentamos compreender os movimentos dos corpos que estão a nosso redor e reduzi-los a regras simples e claras, em geral falhamos, se nos limitamos àquilo que temos diretamente sob os olhos... se queremos obter uma imagem de mundo fechada sobre si mesma, submetida a leis, devemos, por trás das coisas que vemos, conjecturar outras coisas invisíveis e buscar, por trás das barreiras de nossos sentidos, os atores ocultos". Note-se que o conceitos de força e energia seriam um tipo similar de idealização, mas oferecem, segundo Hertz, vários problemas. E ele prossegue: "Mas temos outro caminho... somos livres para admitir que o que está oculto não é outra coisa que movimento e massa, não diferindo das massas e movimentos visíveis e tendo somente outras relações conosco e com nosso modo habitual de percepção.(...) O que estamos habituados a designar pelos nomes de força e energia se reduz, então, a uma ação de masa e de movimento; mas não é necessário que seja sempre a ação de uma massa ou de um movimento perceptível no sentido grosseiro. (...) As massas dos corpos ocultos podem ser definidas apenas por hipótese."

As principais concepções de Hertz podem ser assim sintetizadas:

1 - Tenta uma explicação mecânica global dos fenômenos físicos, guiado pelos seus três critérios aos quais uma teoria física satisfatória deve satisfazer,

2- Supõe a existência de vínculos (conexões geométricas) que ligam os objetos e seus elementos hipotéticos, as massas ocultas. Sua dinâmica se reduz, num certo sentido, à cinemática. A lei básica será construída na forma de um princípio variacional local.

A própria organização lógica e a disposição dos capítulos de seu livro de 1894 nos mostram a linha desenvolvida por Hertz, no sentido de construir não uma nova teoria mecânica, porque isso não era ainda percebido como necessário por não haver contradições patentes com experimentos, mas de apresentá-la sob uma *nova forma* mais interessante dos pontos de vista lógico e físico.

Eis a ordenação dos capítulos do livro:

## *Os princípios da mecânica apresentados em uma nova forma (1894)*

### **1 - INTRODUÇÃO**

CONCEPÇÕES METACIENTÍFICAS

CRÍTICA AOS DOIS SISTEMAS MECÂNICOS

NOVO SISTEMA PROPOSTO

### **2 - LIVRO I - "GEOMETRIA E CINEMÁTICA DOS SISTEMAS MATERIAIS"**

CAP. I - TEMPO, ESPAÇO E MASSA

CAP. VII - CINEMÁTICA

### **3 - LIVRO II - "MECÂNICA DOS SISTEMAS MATERIAIS"**

CAP. I - TEMPO, ESPAÇO E MASSA

CAP. II - LEI FUNDAMENTAL

CAP. III - MOVIMENTO DE SISTEMAS LIVRES

CAP. V - SISTEMAS COM MASSAS OCULTAS

CAP. VI - SISTEMAS COM DESCONTINUIDADE.

Na introdução, uma das peças mais interessantes e instigantes na história das idéias sobre as teorias científicas, Hertz analisa e exhibe os critérios que, a seu ver, as teorias científicas devem satisfazer: a permissibilidade lógica (*Zulässigkeit*), ou seja, as imagens ou representações feitas não podem contrariar as “leis do pensamento”, Não deve haver contradição lógica na teoria; a correção (*Richtigkeit*), ou seja o acordo com os resultados experimentais, e a adequação ou comodidade da teoria (*Zweckmässigkeit*), ou seja a “simplicidade” que as teorias devem possuir. No Apêndice colocamos, em tabela comparativa e telegráfica, os critérios de Hertz.

A Nota Preliminar ao Livro I deixa claras as perspectivas do autor: “O assunto do primeiro livro é complementemente independente da experiência. Todas as afirmações feitas são julgamentos a priori no sentido de Kant. São baseadas nas leis da intuição interna da pessoa que faz as assertivas...com sua experiência externa não têm qualquer conexão além da que suas intuições e formas possam ter.” Já na Nota Preliminar do Livro II, Hertz dirá: “Nesse segundo livro entenderemos T, L e M como símbolos para objetos da experiência externa... Nossas afirmações sobre as relações entre T, L e M devem satisfazer daqui para frente não só às demandas do pensamento, mas também estarem de acordo com as possíveis e, em particular, futuras experiências. Essas afirmações são baseadas, portanto, não somente nas leis de nossa intuição e pensamento, mas também na experiência.” Vê-se que a crença lógica aqui refletida pretende como possível uma separação nítida entre o desenvolvimento lógico de formas matemáticas concebidas a priori e, num segundo momento, a partir da criação de conexões entre esses conceitos e a experiência, a possibilidade de se construir teorias e modelos que “descrevam” o comportamento da natureza.

Dentre muitas questões interessantes que emergem dos pressupostos e do sistema proposto por Hertz, destaco algumas:

1) Seu projeto mais importante, embora isso não seja afirmado com muita clareza, é o da construção de uma proposta “reunificadora” da explicação mecânica. Ele engloba também o problema do éter e seu significado, mas não se reduz a ele. Isso nos remete a uma questão, instigante e de difícil resposta: por que Hertz mantém a idéia de éter, apesar dessa estar em aparente contradição com seus critérios?

3) Por que, no seu sistema, seria necessário decidir entre teorias equivalentes, ou seja, teorias que são representações igualmente adequadas para o mundo externo?

4) Qual a explicação para várias de suas afirmações, espalhadas em seus artigos e no livro, que traduzem um “empirismo latente”?

5) Uma questão posta por Pyenson [5] interroga se Hertz não teria desempenhado um papel de transição para uma corrente “neoleibtziana”, de harmonia pré-estabelecida, que iria surgir na física matemática nos trabalhos de Klein, Hilbert, Weyl, entre outros.

6) Por que o programa de Hertz traduzido em seus Princípios da mecânica não tiveram eco importante no desenvolvimento posterior da física? E qual teria sido de fato sua repercussão junto a “sucessores” imediatos como Boltzmann, Planck e Einstein?

Por limitações de várias ordens, arriscar-nos-emos aqui a produzir um esboço de resposta para as duas últimas das questões; tentativas semelhantes, em relação às outras, foram esboçadas em [2]. Iniciemos com a última questão.

Em primeiro lugar o novo sistema mecânico proposto por Hertz encontrou, de imediato, um obstáculo sério para a afirmação de qualquer proposta renovadora: dificuldades operacionais na manipulação matemática de seus princípios e ausência de exemplos simples onde sua lei pudesse ser aplicada com facilidade. Embora importante, esse empecilho não pode ser tomado como decisivo; veja-se o caso, assemelhado em certo grau, da relatividade geral. Em segundo lugar, conforme Poincaré destacará em sua crítica, havia hipóteses em excesso. O conceito de massas ocultas parecia uma especulação desnecessária e, se substituiu conceitos confusos como o de força ou possuidores de alguma ambigüidade, como o de energia, não era isento de desvantagens, além de tornar a explicação mecânica dependente de objetos não observáveis, para usar um termo atual. Seu sistema não resolvia várias das dificuldades dos sistemas anteriores, e, em certo sentido, apenas tracava-as por outras. Por último, a referência básica do novo sistema era a física clássica, que não contestava em termos físicos, enquanto que o momento histórico que se segue imediatamente a Hertz conduz aos primeiros e importantes questionamentos, experimentais e teóricos, da mecânica clássica. O sistema de Hertz não oferecia uma perspectiva suficientemente promissora nessa direção em face da radicalidade das alterações requeridas.

Uma releitura atual da tentativa de Hertz permite situá-la, e assim ela aparece em alguns poucos livros de mecânica clássica que a retratam, como uma abordagem alternativa e complicada da mecânica, reduzida, frequentemente, apenas a um outro princípio variacional possível.

No que se segue discutiremos, também de maneira apressada e sintética, as repercussões das idéias da nova formulação de Hertz e especulamos sobre possíveis influências delas decorrentes. Em alguns casos, não nos limitamos ao sistema mecânico e nos referimos também à possíveis ecos de suas idéias epistemológicas.

### **Mach e Duhem**

A crítica de Mach ao sistema de Hertz pode ser resumida em sua discordância da introdução das massas ocultas: acha o sistema um progresso interessante mas destaca o caráter absolutamente arbitrário da introdução dessas massas auxiliares que não tinham contrapartida observacional direta. Duhem chamará a atenção para o fato que a mecânica de Hertz é mais uma doutrina que um programa e que não foi aplicada até o fim em problemas precisos. Para eles o sistema de Hertz foi considerado, como por muitos de seus contemporâneos, uma proposta interessante e fruto de uma mente brilhante mas destituída de valor prático.

### **Poincaré**

As críticas de Hertz e Poincaré [6] aos sistemas clássico e energético são bastante similares. Destaco as diferenças entre as concepções dos dois: Poincaré com mais decisão afirma a importância dos princípios gerais (como o da conservação da energia e o da mínima ação) para a formulação de uma teoria física; o objetivo final de Poincaré, com uma perspectiva onde o convencionalismo joga um papel mais significativo (embora, no aspecto físico, Poincaré não se reduza a ele), é mais a unidade do sistema formal construído que os mecanismos subjacentes à teoria. Quanto à noção do éter, Poincaré afirmará com clareza que a sua invenção possibilita o uso das equações diferenciais, mas, do mesmo modo que Hertz, não conseguirá dispensá-lo da física por não visualizar alternativa mais adequada. O esquema, apresentado no Apêndice, que caracteriza aquilo que seriam os critérios fundamentais de Poincaré é algo arriscado, já que este cientista não foi tão explícito, nesse particular, como o foram Hertz ou Boltzmann.

Giedymin [7] vai mesmo defender, de maneira exagerada a meu ver, uma linha de filiação Hamilton-Hertz-Poincaré acerca da concepção das teorias físicas. Segundo ele esta linha, que conteria o chamado convencionalismo físico e geométrico de Poincaré, originou-se das pesquisas nos fundamentos de ótica e do eletromagnetismo no século XIX.

### **Planck**

A física de Planck tem de Boltzmann uma influência clara. Nos aspectos filosóficos, Planck, que iniciara sob a forte influência positivista de Mach, irá afastar-se desta linha e caminhar para uma posição mais próxima à de Hertz e ao realismo de Boltzmann, embora não mencione explicitamente as visões desses personagens. No entanto, numa perspectiva mais kantiana e escorada numa idéia mais marcada sobre a necessidade do absoluto, não foi seduzido pelas idéias evolucionistas tão importantes em Boltzmann. Sua posição filosófica e sua perspectiva física mais conservadora fizeram de Planck um permanente relutante em aceitar as idéias da teoria quântica, embora tivesse sido um de seus iniciadores.

Planck, antes de reconhecer que o programa de Hertz não teve o sucesso esperado, fala dele da seguinte forma: "A tentativa mais elegante, e talvez a final, de expressar todos os fenômenos da natureza em termos do movimento está contida na mecânica de H. Hertz."

### **Boltzmann**

Sigo os trabalhos de Broda [8], d'Agostino [9] e Videira [10] ao comentar sobre as idéias de Boltzmann e suas proximidades com Hertz. A filosofia de Boltzmann foi denominada por ele inicialmente de realismo filosófico e, posteriormente, de materialismo. Foi tão grande a influência nele da teoria de Darwin-Wallace, que incorporou uma perspectiva evolucionista em sua visão sobre o desenvolvimento das teorias científicas. Possuía uma idéia de progresso das teorias através de contradições e afirmava que estas evoluíam de forma descontínua. Em função disso, virá uma de suas principais críticas sobre as concepções

de Hertz. O primeiro critério de Hertz, a permissibilidade lógica, tem o seu papel completamente diluído, já que as leis do pensamento não sendo perfeitas, por não diferirem de outros hábitos adquiridos, exigirão também a confrontação com a experiência.

Leiamos Boltzmann em sua crítica a Hertz: “Desejo levantar objeções contra essa proposição. Certamente devemos trazer conosco um rico tesouro de leis do pensamento. Sem elas a experiência seria quase inútil; não poderíamos mesmo fixá-la sem representações interna. Quase sem exceção, essas leis do pensamento são hereditárias, mas apesar disso sofrem modificações através da educação, do ensino e de nossa própria experiência. Elas não são exatamente as mesmas para um criança, para uma pessoa leiga ou para um cientista... Certamente há leis do pensamento que provaram ser adequadas, de tal modo e sem exceção, que temos absoluta confiança nelas e as consideramos como princípios heurísticos imutáveis do pensamento. Mas, apesar disso, penso que elas se desenvolveram lentamente. Sua primeira fonte consistiu da experiência primitiva da espécie humana na condição original, gradualmente elas tornaram-se mais fortes e mais claras, através de experiências complicadas, até que, finalmente, assumiram sua formulação atualmente definida; mas não se deveria reconhecer as leis do pensamento como juízes absolutamente supremos. Não podemos saber se elas não sofrerão uma ou outra modificação... Na história da ciência há muitos casos onde teoremas foram ou provados ou refutados através de evidência que, pensava-se, correspondia às leis do pensamento, enquanto agora estamos convencidos de sua futilidade. Portanto, gostaria de modificar a exigência de Hertz... O único e último veredito sobre as representações [teorias] está baseado em sua adequação, tão simples quanto possível e de forma completamente correta, à experiência... Reside precisamente aqui o teste para a correção das leis do pensamento.”

“Segue-se que não pode ser nossa tarefa achar uma teoria que seja absolutamente correta, mas, ao contrário, encontrar uma representação que seja tão simples quanto possível e que represente o fenômeno tão bem quanto possível. É mesmo concebível que duas teorias diferentes sejam igualmente simples e se ajustem aos fenômenos igualmente bem, e, portanto, sejam, embora totalmente diferentes, igualmente corretas. A assertiva que uma teoria é a única correta pode ser meramente a nossa convicção subjetiva de que nenhuma outra representação pode existir que seja igualmente simples e igualmente bem ajustada.”

A idéia de Boltzmann de que as leis do pensamento foram formadas de acordo com as mesmas leis da evolução justifica a sua consideração dos métodos de Darwin como a chave para o entendimento da verdade ou falsidade das teorias científicas. Reside aí, creio, sua principal discordância acerca das concepções metacientíficas de Hertz.

## Einstein

Einstein não aproveita de forma direta o aparato alternativo construído por Hertz para a mecânica clássica. Mas não deixa de ser influenciado em dois aspectos: nas suas concepções metacientíficas, através da crítica à mecânica clássica, em particular ao conceito de força, e em sua perspectiva unificadora das teorias físicas. O registro que a obra de Hertz deixou traços é da lavra do próprio Einstein, em várias passagens de suas Notas autobiográficas [11]. “No Instituto Politécnico de Zurique... trabalhei a maior parte do tempo no laboratório de física, fascinado pelo contato direto com a experiência. O resto do tempo era quase todo utilizado estudando em casa as obras de Kirchoff, Helmholtz, Hertz etc. (...) Maxwell e Hertz, que podem ser considerados os cientistas que abalaram a crença de que a mecânica é a base final e definitiva do pensamento físico, eles também, no seu pensamento consciente, atinham-se à noção de que a mecânica era a base da física. Foi E. Mach quem, com sua história da mecânica, revolucionou esta crença dogmática. (...) na minha juventude a posição epistemológica de Mach influenciou-me acentuadamente, uma posição que hoje considero impossível de ser mantida. Pois ele não focalizou devidamente a natureza essencialmente construtiva e especulativa de todo pensamento e principalmente do pensamento científico.”

Nessas mesmas notas, Einstein expõe suas concepções sobre as teorias físicas. Os critérios que devem ser satisfeitos são os seguintes:

- 1 - A teoria não deve contradizer os fatos empíricos;
- 2 - As premissas devem possuir “naturalidade” ou “simplicidade lógica”. Isso está relacionado à sua “perfeição interna”;
- 3 - A teoria deve ser abrangente, ter como objeto a totalidade dos fenômenos físicos.

Observe-se que esses critérios de Einstein se assemelham aos de Hertz, mas diferem deles em pontos importantes:

a) Não fala do primeiro critério de Hertz (o da permissibilidade lógica), embora alguma nuance dele possa estar contida no seu segundo critério. A eliminação do critério de permissibilidade lógica reflete a postura de Einstein que o levou a questionar profundamente a estrutura “lógicamente evidente” da mecânica clássica e, portanto, a relativizar o peso deste critério na validação das teorias físicas. Como vimos esse argumento de “consistência lógica” foi criticado com ardor também por Boltzmann, baseado na sua perspectiva emanada do evolucionismo. Apesar de influenciado pelo caldo cultural pós teoria da evolução e de ter incorporado seus resultados como de grande importância científica, Einstein não demonstra a mesma insistência de Boltzmann no papel evolucionista com decisivo no desenvolvimento das teorias científicas;

b) Embora Einstein não o afirme explicitamente, como Hertz o faz, seus critérios possivelmente obedecem à hierarquia expressa em sua ordenação.

Em vários trabalhos importantes de Einstein podemos perceber o impacto de sua visão geral sobre a descrição física. Talvez possamos discernir aí a influência do pensamento de antecessores importantes como Mach, Maxwell, Boltzmann e Hertz. Mesmo na sua fase inicial proclamada “empirista”, temos um Einstein bem distinto das concepções simplórias sobre a emergência direta das teorias a partir dos “fatos” experimentais. Em seu famoso artigo de 1905, sobre a relatividade especial, Sobre a eletrodinâmica dos corpos moventes, Einstein explora, já no primeiro parágrafo (e recorde-se aqui o primeiro parágrafo do artigo de 1884 de Hertz, onde o raciocínio de simetria de Ampère no eletromagnetismo é abordado), as assimetrias da eletrodinâmica de Maxwell, “como entendido na época”, no que se refere à ação recíproca de um magneto e um condutor de corrente elétrica, quando em movimento relativo. Em seguida, e só após essa discussão sobre uma “deficiência teórica” da teoria vigente, Einstein, sem mencionar qualquer delas explicitamente, falará das tentativas experimentais de se detetar o movimento da Terra no “meio luminoso”. Se adotarmos o conselho do próprio Einstein, de que para entendermos o trabalho científico devemos observar o que os cientistas fazem e não o que dizem fazer, não podemos deixar de verificar que, nesse trabalho, e no de 1915, como veremos abaixo, argumentos de caráter “teórico” são utilizados antes da consideração explícita a fatos experimentais.

Einstein afirma, depois, sobre os seus dois postulados (o da relatividade e o da constância da velocidade da luz, independentemente do movimento do observador): “Esse dois postulados são suficientes para a obtenção de uma teoria simples e consistente da eletrodinâmica dos corpos moventes. A introdução de um “éter luminífero” provar-se-á supérflua...” [grifo meu].

Em seu artigo sobre a relatividade geral de 1915, usa, de início, o termo “defeito epistemológico” da mecânica clássica para caracterizar o fato de que os sistemas acelerados não são aí equivalentes. O critério de “simplicidade”, ligado à simetria, é aqui usado antes de qualquer afirmação sobre inadequação experimental.

As críticas de Mach e Hertz, e possivelmente também as de Poincaré, terão influenciado Einstein na sua crítica à mecânica clássica e em sua busca por uma teoria mais abrangente que englobasse o campo gravitacional. Certamente a geometrização daí advinda tem paralelos importantes com as concepções de Hertz de eliminação da força e de redução da dinâmica à uma cinemática (o que, em alguma forma, ocorrerá com o campo gravitacional, na teoria da relatividade geral). As massas ocultas de Hertz, que ressuscitam, em certo sentido, na tentativa de introduzir variáveis ocultas para uma descrição realista local da mecânica quântica, encetada por de Broglie, D. Bohm, Vigier e outros, e que contava com a simpatia de Schrödinger, não oferecia atrativos para Einstein. Mas o programa global da descrição unificada de toda a física, perspectiva significativa em Einstein, embora não seja, de nenhum modo, uma postura unicamente de Hertz, raramente encontrou um defensor mais insistente.

### **Harmonia pré-estabelecida : Klein, Hilbert, Minkowski**

Pyenson, em seu artigo sobre a relatividade na Alemanha [5], atribui a Hertz um papel de transição importante no que se refere ao desenvolvimento, na Alemanha e no início do século, de uma concepção neoleibniziana de uma “harmonia pré-estabelecida” que as teorias físicas devem satisfazer. Segundo essa concepção, a matemática tem um papel muito importante na formulação das teorias físicas, o que impele

ao uso de formas matemáticas e simetrias como um guia para descobrir as leis da natureza. Exemplos de cientistas que aderem a essas idéias : Klein, Minkowski (que trabalhou no laboratório de Hertz em 1888), Hilbert, Weyl e, segundo Pyenson, também Einstein. Embora, no dizer de Einstein, devamos ter cuidado ao analisar suas citações, relembremos uma que, mesmo ambígua, toca, de passagem, na perspectiva de Leibniz e parece dar alguma razão a Pyenson: "Ninguém que tenha realmente se aprofundado no assunto, negará que, na prática, o mundo dos fenômenos unicamente determina o sistema teórico; isto é o que Leibniz descreveu tão adequadamente como uma "harmonia pré-estabelecida."

Pyenson atribui a Hertz o papel de transição, situando-o como alguém que poderia assinar a declaração de que "um formalismo matemático bonito corresponde diretamente à realidade física". Afirma também que outros, possuidores de uma visão diferente sobre o papel das matemáticas na física - como Drude, Boltzmann, Planck e Helmholtz - atribuem à matemática o papel de linguagem da física, mas afirmam sua insuficiência para revelar ou elaborar as leis físicas.

Prossigue: "Apesar de Hertz não usar as palavras "harmonia pré-estabelecida" para descrever como as concepções se correlacionam com o mundo exterior, sua descrição das teorias bem poderia possuir tal noção em sua base. Mais tarde, em sua introdução, quando escreve que "o conteúdo físico é bastante independente da forma matemática", poderia estar somente enfatizando a harmonia que existe entre realidade física e matemática. Nesse que foi o último trabalho de Hertz, há uma relutância em reconhecer a beleza paralisante e a capacidade de sedução da forma abstrata que a mecânica assume quando expressa em termos do princípio de mínima ação. Hertz, o codificador das equações de Maxwell, resistiu vigorosamente a aceitar que as equações abstratas implicavam na existência real de um campo eletromagnético."

Creio que as argumentações de Pyenson são frágeis em alguns pontos. Não nego que Hertz tenha influenciado de alguma medida não desprezível vários dos cientistas das gerações que o sucedem, como, aliás, estou tentando justificar, mas o figurino da "harmonia pré-estabelecida", embora não deixe de ter paralelos com certas reflexões de Hertz, não se ajusta globalmente ao ator em causa. A leitura da introdução de seu livro e o desenvolvimento que segue na construção de sua nova forma para a mecânica, não parece, a meus olhos, inspirada profundamente na "harmonia pré-estabelecida"; a própria separação dos dois campos, expressa na divisão física dos seus Livro I e Livro II não parece justificar a afirmação de Pyenson. As citações de Pyenson não correspondem muito ao que tenta tirar delas, e, por isso, em várias delas, deve buscar uma justificação extra que sustente sua tese. Será que o papel de Hertz foi esse mesmo que ele lhe atribui? Dizer que Hertz foi uma figura de transição é quase chover no molhado. A tripla e competente atividade de Hertz, como experimentador, teórico e filósofo da ciência, terá certamente influenciado nesse seu papel transicional. Foi mesmo, assim como outros, Boltzmann ou Planck como exemplos evidentes, de um período que renunciava exatamente o fim da hegemonia solitária da mecânica clássica.

Por outro lado, discordo também de afirmações que colocam Hertz como um dos expoentes e seguidores diretos da visão fenomenologista e físico-matemática de Kirchoff, embora tivesse recebido suas influências. Não sendo o objetivo aqui analisar com mais profundidade as concepções epistemológicas de Hertz, o que seria necessário para justificar mais adequadamente as contraposições feitas, remeto o leitor interessado para as excelentes análises de d'Agostino [9], e Abrantes [3].

## Conclusões

Hertz é hoje, e justamente, lembrado por seus excepcionais trabalhos experimentais e teóricos sobre o eletromagnetismo. Entre os filósofos e os historiadores da ciência, suas reflexões sobre as teorias científicas e sua gênese, têm um lugar de destaque assegurado. Influenciou mesmo, e diretamente, pensadores como Wittgenstein e Carnap. No entanto, a tentativa mais ambiciosa de Hertz, a de estabelecer uma nova forma para a mecânica clássica que fosse mais adequada para representar os fenômenos físicos, segundo seus critérios, e que pudesse possibilitar talvez a unificação descritiva de todos eles, não teve o mesmo sucesso. Nos dias que correm os tratados de mecânica analítica, no que se refere a esse programa de Hertz, raramente fazem mais, quando o fazem, do que mencionar o seu princípio mecânico do trajeto mais "reto" ou de menor curvatura. Tentamos aqui apresentar algumas razões para o porquê disso e também mostrar que essas idéias de Hertz deixaram algum fruto, mesmo que indireto, nos trabalhos de

alguns de seus importantes sucessores. É claro que é, em geral, uma tarefa muito difícil precisar, sequer razoavelmente, o grau de influência da obra de um cientista sobre seus contemporâneos e sobre os que o seguem; a produção científica é um processo complexo em que as interações ocorrem numa estrutura de malha intrincada (Veja a figura 1 para um esboço precário de uma malha para os atores aqui mencionados). Mas talvez o próprio insucesso, naquele momento, do projeto de Hertz, cientista cuja grande capacidade era reconhecida por todos, terá sinalizado, no início do século XX, para a busca de novos caminhos de superação dos impasses surgidos com a crise do pensamento clássico na física.

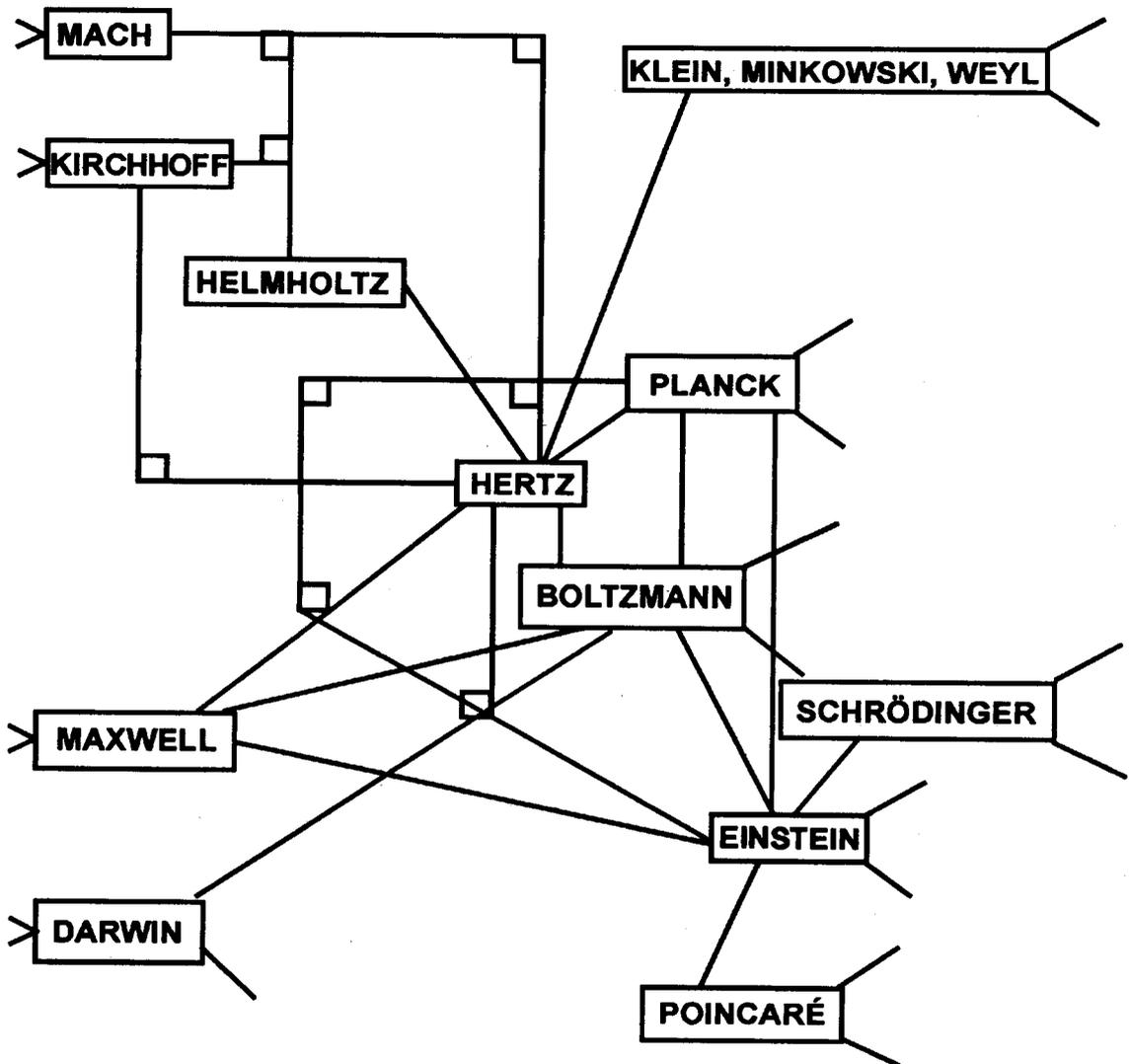
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, P.C.C.**, O trabalho científico de Hertz e sua filosofia da ciência, *VII Colóquio de História da Ciência*, CLE-UNICAM, Águas de Lindóia, 1991.
- MOREIRA, I. C.** O trabalho científico de Hertz e sua filosofia da ciência, *VII Colóquio de História da Ciência*, CLE-UNICAM, Águas de Lindóia, 1991.
- ABRANTES, P.C.C.** *A filosofia da ciência de H. Hertz (1857-1894)*, em "Século XIX: O nascimento da ciência contemporânea", F. R. R. Évora (ed.), (Coleção CLE, Campinas, 1992).
- HERTZ, H.** *The Principles of Mechanics* (Dover, New York, 1956).
- PYENSON, L.** Relativity in late Wilhelminian Germany: The appeal to a preestablished harmony between mathematics and physics. *Arch. Hist. Exact Sciences* 27, 137(1982).
- POINCARÉ, J. H.** Les idées de Hertz sur la mécanique *Revue Générale des Sciences VIII*, 734 (1897).
- GIEDYMIN, J.**, Geometrical and physical conventionalism of Henri Poincaré in epistemological formulation, *Stud. Hist. Phil. Sci.* 22, 1 1991.
- BRODA, E.** Philosophical biography of L. Boltzmann *Acta Physica Austriaca*, Suppl. X, 17, 1973.
- S. D'AGOSTINO**, Hertz's researches and their place in nineteenth century theoretical physics *Centaurus* 36, 46, 1993.
- PASSOS VIDEIRA, A.A.** *Atomisme épistémologique et pluralisme théorique dans la pensée de Boltzmann*, Tese de doutorado, Universidade de Paris VII, 1992
- EINSTEIN, A.** *Notas autobiográficas*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.

ILDEU DE CASTRO MOREIRA é Professor do Instituto de Física da Universidade do Rio de Janeiro, UFRJ

Endereço: Instituto de Física/UFRJ - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ - Brasil - Caixa Postal: 68.528 - CEP:21.949-900 - E-mail: ildeu@f.ufrj.br

Figura 1:



## APÊNDICE

### CONCEPÇÕES EPISTEMOLÓGICAS EM DISPUTA

*CRITÉRIOS PARA ACEITAÇÃO DAS TEORIAS FÍSICAS (REPRESENTAÇÕES  
MAIS OU MENOS ADEQUADAS DO MUNDO EXTERNO)*

<p><b>HERTZ</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. PERMISSIBILIDADE LÓGICA</li><li>2. CORREÇÃO (EXP.)</li><li>3. ADEQUAÇÃO/SIMPLICIDADE</li></ol>	<p><b>BOLTZMANN</b></p> <p>(REALISMO FILOSÓFICO/ MATERIALISMO)</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. CORREÇÃO (EXP.)</li><li>2. SIMPLICIDADE</li></ol> <p><b>OBS: AS LEIS DO PENSAMENTO NÃO SÃO PERFEITAS. AS TEORIAS EVOLUEM (AOS SALTOS)</b></p>
<p><b>POINCARÉ</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. UNIDADE DA NATUREZA</li><li>2. SIMPLICIDADE</li><li>3. CORREÇÃO (EXP.)</li></ol> <p><b>OBS. CRÍTICA AO EMPIRISMO E AO NOMINALISMO</b></p>	<p><b>EINSTEIN</b></p> <p>(RACIONALISMO CRÍTICO/REALISMO)</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. CORREÇÃO (EXP.)</li><li>2. NATURALIDADE OU SIMPLICIDADE LÓGICA</li><li>3. GENERALIDADE (ABRANGÊNCIA DA TEORIA)</li></ol>