

## MACH: O POSITIVISMO E AS REFORMULAÇÕES DA MECÂNICA NO SÉC. XIX

Augusto J. S. Fitas\*

### 1. (As duas vias da construção da Mecânica)

A Mecânica aparece pela primeira vez exposta de uma forma sistemática, e rigorosa sob o ponto de vista matemático, nos **Principia** de Newton. Embora o seu objectivo primordial fosse a explicação do movimento dos astros, Newton, nesta sua obra, enunciou os conceitos e formulou as leis naturais que unificaram a compreensão do movimento no mundo terrestre e no mundo celeste. A mecânica newtoniana assenta em quatro conceitos basilares (espaço, tempo, massa e força) que sustentam o enunciado das três leis da dinâmica. Com esta formulação o problema fundamental da mecânica do corpo rígido reduz-se à necessidade do conhecimento de todas as forças que actuam no corpo para, a partir destas, determinar a sua trajectória. A ferramenta essencial e básica desta mecânica é a análise e síntese das forças e dos respectivos momentos. Daí a importância que o conceito de força tem para a mecânica Newtoniana

É com o aparecimento em 1736 do livro, **Mechanica, sive motus scientia analytice exposita**,<sup>1</sup> escrito por Leonard Euler que surge o primeiro tratado em que a mecânica do ponto é apresentada de uma

---

\* Departamento de Física da Universidade de Évora, Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora.

forma analítica, esta obra é o primeiro tratado de Mecânica Racional. Newton estabelecera os princípios da mecânica, mas a sua grande preocupação era deles deduzir a explicação do movimento planetário descrita através das leis de Kepler. Euler com este seu tratado expõe de uma forma sistemática tudo o que até aí fora descoberto por outros autores utilizando como ferramenta matemática o cálculo infinitesimal. Na Mecânica de Euler apresenta-se uma construção teórica composta por axiomas, definições, e deduções lógicas, de uma ciência racional, demonstrando-se que a mecânica Newtoniana é uma ciência apodíctica de verdade necessária e não contingente. Euler, tal como Newton, toma as forças como o conceito fundamental da sua dinâmica, embora a sua medida, ou a sua comparação, seja relegada para o domínio da estática. É nesta obra que explicitamente é afirmado que *«a massa de um corpo não é determinada pelo seu volume, mas pela força necessária para lhe comunicar uma determinada aceleração»*<sup>2</sup>. É a Euler que se deve, pela primeira vez, a formulação da célebre expressão  $f=ma$ <sup>3</sup>. Nas cartas que escreveu a uma princesa alemã, na septuagésima primeira, Euler de um modo simples propõe uma forma física de entender o conceito de força, escrevendo *«opor-se à penetração não é outra coisa senão o desenvolver forças necessárias para evitar estas (...) É, pois, a impenetrabilidade de dois corpos que encerra a verdadeira origem das forças»*<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Em português escrever-se-á «Mecânica ou ciência do movimento exposta analiticamente».

<sup>2</sup> Max Jammer, 1961, *Concept of Mass*, Harvard University Press, Camb.Mass., pag. 89

<sup>3</sup> Que se deve ler, força igual à massa vezes a aceleração.

<sup>4</sup> Leonard Euler, 1985, *Reflexiones sobre el espacio, la fuerza y le materia*, Alianza editorial, Madrid, pág.113

Todavia um outro autor importante da época, D'Alembert, que publicou em 1743 o seu **Traité de Dynamique**, procura furtar-se à noção de causa do movimento, é o que afirma quando escreve «ninguém se surpreenderá que em consequência desta reflexão, tenha, por assim dizer, afastado a minha observação das causas do movimento para me concentrar unicamente no movimento que elas produzem»<sup>5</sup>. D'Alembert ignorando as causas do movimento, procura fugir ao conceito de força, mas ao estudar o caso do impacto ou do impulso, introduz aquilo que designa por *força aceleradora* (aceleração) para, tal como na terminologia newtoniana, «assim entendemos em geral como força motriz o produto da massa que o move pelo elemento da velocidade, ou, o que é a mesma coisa, (...) pela força acelerativa»<sup>6</sup> e aceitando, como Newton, que o conceito de massa é um conceito conhecido a priori.

A utilização do conceito de força ou, como atrás se escreveu, a análise e síntese das forças e dos respectivos momentos constituem a ferramenta essencial e básica desta mecânica, apresentando-se como a primeira via de construção de todo o edifício da mecânica que se designa como a **mecânica vectorial**.

---

<sup>5</sup> «on ne fera point surpris qu'en consequence de cette reflexion, j'aie, pour ainsi dire, détourner la vue de dessus les *causes motrices*, pour n'envisager uniquement le Mouvement qu'elles produisent», J.L.D'Alembert, 1743, *Traité de Dynamique*, Paris (ed. Jacques Gabay, 1990, pag.XVI).

<sup>6</sup> «Ainsi nous entendrons en general par la force motrice le produit de la masse qui se meut par l'element de la vitesse, ou, ce qui est la meme chose, par le petit espace qu'elle parcourroit dans un instant donné en vertu de la cause qui accélere ou retarde son Mouvement; par force accélératrice, nous entendrons simplement l'element de la vitesse», J.L.D'Alembert, 1743, *Traité de Dynamique*, Paris (ed. Jacques Gabay, 1990, pag.26).

Se na mecânica vectorial a acção da força é medida como a taxa da variação temporal do momento linear, para Leibniz, contemporâneo de Newton e forte opositor do sistema newtoniano, a chave da resolução dos problemas do movimento residia numa outra grandeza, a vis viva (força viva), como a forma mais adequada para determinar a acção dinâmica da força. Leibniz substitui o momento de Newton pela energia cinética e a força de Newton pelo "trabalho da força". Erigindo como princípio da sua construção teórica a conservação, «*na natureza as forças activas são conservadas*»<sup>7</sup>, argumentando do seguinte modo: «*os corpos como um todo perdem, de facto, a força activa, mas esta não é destruída, ela será absorvida pelas partes que constituem os corpos*»<sup>8</sup>. Leibniz pode ser tomado como o criador do segundo ramo da mecânica, usualmente chamada **mecânica analítica**. Esta ramo assenta todo o estudo do equilíbrio e movimento do corpo rígido em duas quantidades escalares fundamentais: a energia cinética e a energia potencial.

Esta segunda via de desenvolvimento da mecânica foi matematicamente construída à custa do enunciado do princípio da menor acção formulado, ainda no séc.XVIII, por Euler-Lagrange e posteriormente, já no séc.XIX, reformulado por Hamilton. O que se propunha era o estudo da natureza à custa de uma condição de mínimo de uma determinada grandeza. Este princípio parecia acrescentar um propósito muito próprio ao fluir natural dos eventos, parecia reafirmar a harmonia pré-estabelecida de Leibniz: «*a mesma força e vigor sempre*

---

<sup>7</sup> H.G. Alexander, ed., 1976, *The Leibniz-Clarke correspondence*, Manchester University Press, Manchester, pag.87

<sup>8</sup> Augusto J.S.Fitas, 1993, *Uma controvérsia na História da Física*, Vértice, 56, 49-61

*existiram na natureza, transferindo-se unicamente de uma parte para outra da matéria, felizmente para as leis da natureza e para a magnífica ordem pré-estabelecida»*<sup>9</sup>. Um princípio que se afastava da descrição causal dos fenômenos tal como era apresentado na mecânica vectorial. Foi à oposição entre os dois métodos que se deveu em parte a polémica entre Newton (Clark) e Leibnitz.

Não surpreende que para alcançar uma explicação mais universal, propósito corrente nos séculos XVII e XVIII, estas duas formas de pensar não fossem apresentados como contraditórias. O acento tónico da filosofia deste período era a suposta harmonia pré-estabelecida entre a "razão" e a "natureza". As grandes descobertas da matemática e a sua imediata aplicação à natureza imbuiu os filósofos de então de uma confiança ilimitada nos fundamentos da estrutura intelectual do mundo. Há um interesse puramente estético e lógico sobre os problemas de máximo e mínimo, o que provocou um vigoroso impulso no desenvolvimento do cálculo infinitesimal. A derivação das leis da óptica geométrica feitas por Fermat, com base no princípio do "percurso percorrido no tempo mínimo", impressionou vivamente os filósofos da época.

## 2. (O séc XIX)

O alargamento espantoso das fronteiras da ciência ao longo de todo o séc.XIX fez com que a visão de conjunto estabelecida pela filosofia natural se perdesse. O homem de ciência interessa-se muito mais

---

<sup>9</sup> H.G. Alexander, ed., 1976, *The Leibnitz-Clarke correspondence*, Manchester

pelo funcionamento dos seus instrumentos do que pela conjectura filosófica. No plano filosófico e científico surge um forte impulso de sobrevalorização da ciência experimental, da ciência como instrumento valioso que permite ao homem controlar as condições naturais e sociais da vida. É a época em que alguns pensadores pretendem pôr de lado qualquer especulação dita metafísica, procurando desenvolver o utilitarismo científico como único meio de valorizar a pesquisa científica. Esta atitude teve profundos reflexos na forma como se repensaram os fundamentos do edifício científico que vinha a ser construído desde a revolução científica do sécXVII.

Esta posição que se pode classificar como positiva procurou "limpar" a ciência daquilo que os seus prosélitos apelidavam de pontos de vista "metafísicos", alicerçando toda a construção científica numa base que tivesse em conta exclusivamente a descrição "pura" dos fenómenos naturais. A matemática representava em toda esta cena o papel decisivo de uma linguagem específica, sobretudo muito económica, cuja função era expressar as relações entre as várias grandezas envolvidas na descrição da natureza. Na Física, Ernst Mach é um dos grande representantes desta corrente.

Embora se deva a Mach as grandes linhas de crítica aos fundamentos da Mecânica e as observações por si levantadas viessem a influenciar decisivamente os olhares dos físicos sobre o universo newtoniano, outros físicos procuraram repensar os fundamentos da Mecânica Clássica como foi o caso de Helmholtz, Kirchoff, Hertz,

Boltzmann e Poincaré. De todos os cientistas nomeados parece-nos ser Mach aquele que primeiro teorizou, de forma filosoficamente mais militante, a atitude "positivista" na Física.

Helmholtz, Kirchoff e Mach perfilharam o ideário positivista; Hertz e Boltzmann afastaram-se deste ideário defendendo o pluralismo teórico na construção científica.

### 3. (A reformulação dos princípios da mecânica vectorial por Ernst Mach)

No prefácio à primeira edição alemã da sua obra "*A Mecânica como Ciência*"<sup>10</sup>, Ernst Mach estabelece logo de início, no primeiro parágrafo, o seu objectivo «*o presente volume não é um tratado sobre a aplicação dos princípios da mecânica. O seu objectivo é clarificar ideias, expor o significado real do assunto e expurgar as obscuridades metafísicas*»<sup>11</sup>, para alguns parágrafos adiante escrever que a sua «*concepção fundamental sobre a natureza da ciência como Economia de Pensamento*» se assume como «*uma tribuna determinada contra os abusos dos métodos especulativos*»<sup>12</sup>.

---

<sup>10</sup> Esta obra, *Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt*, foi, em vida do autor editada sete vezes, em 1883, 1888, 1897, 1901, 1904, 1908 e 1912; a oitava e nona edição em língua alemã datam de 1921 e 1933. A primeira edição em língua inglesa data de 1893. Neste trabalho utilizou-se sétima edição em língua inglesa. Julgamos não haver nenhuma edição em língua portuguesa.

<sup>11</sup> Ernst Mach, 1974, *The Science of Mechanics*, The Open Court Publishing Co., NY, pag.XXII.

<sup>12</sup> *ibid*, pag XXIV.

Este princípio de Economia, também defendido por Avenarius<sup>13</sup>, não constitui uma lei física com um significado ontológico, mas corresponde à tendência verificada na acumulação gradual dos conhecimentos científicos e que pode ser entendida como uma forma do pensamento actuar pela economia de meios. Os conceitos científicos, as leis, as teorias devem ser entendidas como uma forma de economizar o trabalho intelectual de tal modo que a experiência adquirida fique registada, podendo ser transmitida através de uma teoria formulada matematicamente. É este princípio geral que se constitui, como trincheira, contra os pretensos avanços das especulações ou, por outras palavras, das pretensas teorias científicas sem um sólida base empírica. Este princípio é arvorado como o único critério para determinar a validade dos conceitos, separando-os entre científicos e metafísicos<sup>14</sup>.

Como subtítulo desta obra, Mach escreve "[A Mecânica como Ciência] **O relato crítico e histórico do seu desenvolvimento**", propondo-se analisar o desenvolvimento histórico da Mecânica como meio para o entendimento da evolução conceptual deste domínio

---

<sup>13</sup> Rudolph Avenarius (1843-1896), filósofo alemão que pretendeu construir uma filosofia como ciência rigorosa, excluindo toda a metafísica, pode ser considerado como o fundador do empiriocriticismo.

<sup>14</sup> Segundo o princípio da economia de pensamento, uma boa teoria científica é aquela que permite a classificação e previsão dos fenómenos sem o recurso a um excessivo número de ideias sem correspondência com o que é observado pelos sentidos, a lei científica corresponde a um enunciado económico, formulado na linguagem matemática (a mais económica e geral), dos resultados experimentais. Esta lei não se preocupa com a constituição da natureza nem com a explicação causal dos fenómenos observados. Para Mach a hipótese atomista, supondo o átomo como entidade real, constitui uma teoria física muito complicada; um átomo nunca se observara, era impossível a sua comprovação experimental, logo esta teoria não teria sentido...

científico, analisando os seus conceitos e passando conseqüentemente à crítica dos mesmos.

Mach reconhece a Newton dois méritos fundamentais: primeiro, a descoberta da gravitação universal; segundo, o ter «*completado o enunciado formal dos princípios da mecânica agora aceites na generalidade*»<sup>15</sup>; concluindo que tudo o que se fez na mecânica desde os tempos de Sir Isaac correspondeu a «*desenvolvimentos formais e matemáticos na base das leis de Newton*»<sup>16</sup>.

Antes de passar à análise dos conceitos fundamentais da mecânica newtoniana Mach sublinha a importância das conclusões de Newton no capítulo da Física ou, mais propriamente, a sua descoberta da Lei da Gravitação Universal. Manifesta que, historicamente, o caminho para esta descoberta fora «*plenamente preparado por Kepler, Galileo e Huyghens*», realçando que, embora o contributo de Newton já estivesse intelectualmente preparado pelos estudiosos que o precederam, coube ao físico inglês a audácia de resolver o problema de uma forma matematicamente correcta. O que nas suas próprias palavras se traduz por «*um contributoeito de imaginação que, na verdade, não hesitamos em dizer que foi o mais importante de todos*»<sup>17</sup>.

E o que entenderá, neste contexto, Mach por *imaginação*? «*Newton apercebeu-se, com uma grande audácia de pensamento*»<sup>18</sup>, palavras de Mach, que a aceleração correspondente ao movimento da Lua

---

<sup>15</sup> Ernst Mach, 1974, *The Science of Mechanics*, The Open Court Publishing Co., NY, pag.226.

<sup>16</sup> *ibid*, pág.226.

<sup>17</sup> *ibid*, pág 228.

não diferia substancialmente em relação à aceleração da gravidade que era tão familiar a quem observava a queda dos corpos. O físico austríaco louva a capacidade de Newton em, com base nos dados da experiência, ter construído uma teoria que procurou evidenciar as relações matemáticas entre as grandezas observadas sem se preocupar com a explicação causal do fenómeno. Dever-se-á então entender por imaginação, no sentido que Mach lhe atribui, como o quadro mental teórico intuído por Newton para o fenómeno da atracção entre os corpos, em detrimento do porquê dessa atracção que tanto preocupava os seus contemporâneos. Mach aplaude vivamente esta atitude de Newton, ela estava de acordo com as suas ideias positivistas<sup>19</sup>, pois, assente na observação do fenómeno, fora edificado um quadro analítico-matemático que exprimia a relação entre as grandezas observáveis, pondo de lado a procura da causa ou a explicação da origem do fenómeno. Esta postura pode ser ilustrada com as próprias palavras de Newton, «*como estas atracções se podem representar eu não o considero aqui. Aquilo a que chamo Atracção pode ser representado por um impulso, ou por qualquer outro meio desconhecido para mim. Uso esta Palavra aqui para significar somente e em geral qualquer Força através da qual os corpos tendem um para o outro, não importando a causa que o provoque*»<sup>20</sup>.

Para o autor da abordagem crítica e histórica do desenvolvimento da Mecânica, Newton possuía duas características necessárias de um

---

<sup>18</sup> ibid, pag.229.

<sup>19</sup> Newton fora, de certo modo, em alguns aspectos, um positivista «avant la lettre»; o próprio Mach é bastante elogioso sobre a forma como Newton tratara os fenómenos ópticos ...

<sup>20</sup>Isaac Newton, 1979, *Opticks*, Dover Books, NY, pág.376.

grande homem de ciência: a imaginação na análise das manifestações empíricas da natureza e a capacidade de alcançar a generalização.

Todavia o modelo newtoniano levantava um conjunto de problemas, em particular o suporte material da acção à distância, e Mach discorre: «*Após ter sido demonstrado, contudo, que a electricidade caminhava com velocidade finita, a questão de um comportamento semelhante em conexão com uma acção análoga da gravitação volta novamente a colocar-se. É um facto que a força gravítica tem uma semelhança muito grande com a acção à distância da força eléctrica, excepto no único aspecto, tanto quanto se saiba, que só existe atracção e não repulsão*»<sup>21</sup>. Em seguida, após reflectir sobre a hipótese de massas negativas e sobre a velocidade de propagação da acção gravítica, tomando como exemplo a propagação da acção electomagnética, finaliza com a hipótese de existência do éter como meio suporte da acção gravítica<sup>22</sup>.

Quanto ao segundo mérito de Newton reconhecido por Mach, a capacidade de ter estabelecido o enunciado formal dos princípios da mecânica, ele vai ser submetido ao crivo da sua crítica acutilante, sobretudo a natureza dos seus conceitos fundamentais: massa, força, espaço e tempo.

Mach começa por classificar como «*infeliz*»<sup>23</sup> a definição newtoniana de massa, onde esta é apresentada como a quantidade de matéria do corpo, entendida esta quantidade como o produto do volume

---

<sup>21</sup> Ernst Mach, 1974, *The Science of Mechanics*, The Open Court Publishing Co., NY, pág.234.

<sup>22</sup> *ibid*, pag.235.

<sup>23</sup> *ibid*, pag.237.

pela densidade. Entenda-se que o adjetivo empregue tem a ver com o círculo vicioso desta definição, pois, como se sabe, densidade é dada pela razão entre a massa e o volume. Mach não aceita esta definição de massa. Em seguida foca a sua atenção na importância do princípio de composição das forças (primeiro corolário dos Principia), sustentando que ele deve ser explicitamente reconhecido, ao nível da composição do movimento, e, em particular, das acelerações, como um facto experimental e não demonstrável<sup>24</sup>.

A terceira lei da dinâmica merece de Mach a seguinte apreciação, *«talvez a contribuição mais importante de Newton no que diz respeito aos princípios é a formulação da igualdade da acção e reacção»*<sup>25</sup>. Mostrando, através das experiências dos choques, que o *«conceito de massa assume uma forma muito palpável quando se emprega dinamicamente o princípio da acção e reacção»*<sup>26</sup>. Ainda neste ponto Mach define a sua base empírica: *«a percepção instintiva da relação entre pressão e contrapressão; o discernimento que os corpos oferecem resistência à variação da velocidade, independentemente do seu peso, mas proporcionalmente a ele; e a observação que os corpos com maior peso recebem sob iguais pressões menores velocidades»*<sup>27</sup>.

---

<sup>24</sup> realçamos aqui a posição do matemático português, José Anastácio da Cunha, ao defender no seu *Ensaio sobre os princípios da mecânica* que "a composição do movimento não pode entrar num tratado puramente matemático, se não como hipótese"

...

<sup>25</sup> Ernst Mach, 1974, *The Science of Mechanics*, The Open Court Publishing Co., NY, pág.243.

<sup>26</sup> *ibid*, pág.245.

<sup>27</sup> *ibid*, pág.245.

Para Mach impõe-se uma conclusão: empiricamente o que se pode conhecer são variações de velocidade, acelerações, e estas resultam da acção dos corpos entre si. A relação entre as acelerações mútuas devido à interacção entre os corpos tem a ver com as suas massas ou, como ele diz, com os seus pesos. Por outras palavras, a massa inercial deixa de ser uma propriedade intrínseca de um dado corpo, o seu valor deriva da relação dinâmica entre o corpo e todo o universo.

Quanto ao tempo absoluto que *«não pode ser medido por qualquer movimento; não tem qualquer valor prático ou científico; (...) é uma concepção metafísica inútil»*<sup>28</sup>. Ao debruçar-se sobre o espaço absoluto que Newton procurou evidenciar através da célebre experiência com o balde de água em rotação, Mach contestou o raciocínio de Newton e escreveu: *«A experiência (...) informa-nos simplesmente que o movimento relativo da água em relação às paredes do balde não produz forças centrífugas, mas que estas forças são produzidas pela rotação em relação à terra e aos outros corpos do universo(...)»*<sup>29</sup>, acrescentando que nada se pode dizer se a experiência for feita noutras condições (diferente massa e diferente espessura do balde). A experiência de Newton não era suficientemente geral para provar o que quer que fosse. Concluindo da não necessidade de tais conceitos...

Assim, Mach propõe-se substituir os enunciados de Newton por proposições muito mais simples e metodologicamente melhor organizadas:

---

<sup>28</sup> *ibid*, pág. 273

"a. Proposição Experimental: Os corpos induzem uns sobre os outros, sob determinadas condições especificadas pela física experimental, acelerações contrárias segundo a sua direcção ao longo das linhas que os unem.(O princípio da inércia está aqui incluído)

b. Primeira Definição: A razão inversa e negativa das acelerações mutuamente induzidas por quaisquer dois corpos é a razão entre as suas massas.

c. Proposição Experimental: Esta razão de massas dos corpos é independente das características dos estados físicos dos corpos.

d. Proposição Experimental: A aceleração induzida por um qualquer número de corpos num dado corpo são independentes entre si.

e. Segunda Definição: O produto da massa e da aceleração provocada num dado corpo é a chamada força aplicada."<sup>30</sup>

De acordo com a formulação Machiana, a primeira lei de Newton (incluída na primeira proposição experimental) poder-se-ia enunciar do seguinte modo: **A aceleração de um ponto material é sempre produzida por outros pontos materiais; se o ponto material é um ponto isolado, isto é, está infinitamente afastado de qualquer outro, a sua aceleração é nula, ou, por outras palavras, a sua velocidade é constante (o movimento é uniforme) ou também é nula (o ponto está em repouso).**

A Primeira Definição do sistema de Mach estabelece que a relação entre acelerações determinará a razão entre as massas inerciais,

---

<sup>29</sup> ibid, pág. 284

isto é a inércia de um corpo deriva da interacção de todos os outros corpos. Então, uma conclusão se pode tirar: qualquer corpo mergulhado num universo vazio não possui inércia. Para chamar a atenção para esta importante consequência, Einstein, num artigo publicado em 1918, introduz a designação de Princípio de Mach à Primeira Definição, com o objectivo de sublinhar duas ideias macheanas: primeira, não tem qualquer significado a inércia de um corpo isolado; segunda, o referencial inercial é determinado pela distribuição de massas no universo<sup>31</sup>.

A segunda lei de Newton está contida na segunda definição de Mach, esta é a razão porque muitos autores entendem esta lei como a definição de força.

Da necessidade de quatro conceitos fundamentais (espaço, tempo, massa e força) na formulação newtoniana, a mecânica clássica passa a precisar somente de dois conceitos essenciais: espaço e tempo.

#### 4. (Ernst Mach e a mecânica analítica)

Sobre a mecânica analítica também Mach deita o seu olhar crítico. Tudo parecia indicar que as propriedades de mínimo de determinadas funções com base nas quais se estabelecem as equações de movimento corresponderiam claramente à aplicação do princípio da economia tão caro à epistemologia macheanas. A questão central estava em estabelecer a sua base empírica, procurando Mach demarcar-se claramente numa atitude finalista. E quando escreve *«frequentemente os*

---

<sup>30</sup> *ibid*, pag.303.

*fenómenos naturais exibem propriedades com máximos ou mínimos porque estes valores extremos foram atingidos quando as causas de outras alterações desapareceram (...) A catenária corresponde ao ponto mais baixo do centro de gravidade pela simples razão de que quando esta posição foi atingida é impossível o sistema descer para uma posição inferior»<sup>32</sup>, manifesta a sua insatisfação com tais princípios, exactamente porque lhes falta o suporte empírico.*

Para Mach, na natureza, existem muitos fenómenos (e.g. percurso dos raios luminosos, área da superfície de um líquido) que de uma forma, mais ou menos concertada, dão a impressão de agirem de acordo com o princípio da economia, pois o que deles é observado sugere, de um modo accidental, uma «*acumulação económica de efeitos*»<sup>33</sup>. Esta acumulação de efeitos aparenta um princípio geral explicador e a natureza reger-se-ia de acordo com esse princípio. Mach rejeita este princípio geral.

Para Mach a Física não deve ter a pretensão de apresentar um quadro completo da natureza, embora trabalhe nessa direcção, mas, em alternativa, procurar uma visão mais incompleta do mundo que esteja mais perto de concepções adequadas, melhor sustentada pelo observável.

Mach, no seguimento do que se acabou de escrever, é peremptório no seu juízo sobre a mecânica de Joseph Louis Lagrange: «*Nenhuma luz fundamental pode ser extraída deste ramo da mecânica.*

---

<sup>31</sup> Hiebert, E.N., *Ernst Mach*, in C. C Gillespie(ed.), 1980, *Dictionary of Scientific Biography*, vol.8, 595-607 (Charles Scribner's sons, Nova York)

<sup>32</sup>Ernst Mach, 1974, *The Science of Mechanics*, The Open Court Publishing Co., NY, pág.555.

<sup>33</sup> *ibid* pág.554.

*Pelo contrário, a descoberta de matéria de princípio deve ser substancialmente completada antes de se pensar que a mecânica analítica é a única ferramenta que garante a maestria prática dos problemas. Quem a entender como tal jamais compreenderá a obra de Lagrange que aqui deve ser entendida essencialmente no seu carácter económico.»<sup>34</sup>*

De acordo com o filósofo austríaco os princípios variacionais da mecânica não são mais do que uma alternativa à formulação matemática das leis de Newton, não têm outra importância primordial. Para Mach nada mais há a esperar deste ramo da mecânica, continuando a ter que se trabalhar sobre a descoberta de matérias de princípio, isto é, a sustentação empírica das leis fundamentais da mecânica.

##### 5. (Epílogo sobre estas breves reflexões)

O livro, **A Mecânica como Ciência**, é organizada em cinco capítulos: I- O Desenvolvimento dos Princípios da Estática; II- O Desenvolvimento dos Princípios da Dinâmica; III- A Aplicação Extensiva dos Princípios da Mecânica e o Desenvolvimento Dedutivo da Ciência; IV- O Desenvolvimento Formal da Mecânica; V- As Relações da Mecânica com outras Disciplinas do Conhecimento.

É em pleno capítulo II, na crítica às concepções newtonianas que o autor adianta parte das suas conclusões retiradas da análise histórico-conceptual: «(...) *os princípios da mecânica aparentemente mais simples têm um carácter complicado, estes princípios fundamentam-se em*

---

<sup>34</sup> *ibid* pág.575

*experiências incompletas ou em experiências que não podem ser completamente realizadas (...) por forma a servir de base da dedução matemática, logo eles não se podem considerar como verdades matematicamente estabelecidas, mas só como princípios que só admitem o controle permanente da experiência, mas, actualmente, o exigem»<sup>35</sup>. Está aqui claramente expresso a necessidade da revisão dos fundamentos da mecânica e a elaboração de um corpo de princípios que sujeite esta disciplina à pureza antimetafísica. Talvez tenha sido este o primeiro objectivo desta obra.*

O segundo objectivo está abertamente exposto no capítulo IV, destacando-se uma secção, a Quarta e última, intitulada A Economia da Ciência onde o autor escreve que *«as ciências mais economicamente altamente desenvolvidas são aquelas cujos factos se reduzem a um pequeno número de natureza semelhante (...) é o que acontece com a Mecânica que trabalha exclusivamente com espaços, tempos e massas»<sup>36</sup>. As teorias simples são preferíveis às mais complicadas...*

O terceiro objectivo explicita-se no último capítulo, uma espécie de conclusão sobre toda a investigação historico-conceptual feita nos capítulos anteriores: *«O ponto de vista que considera a mecânica como a base de todos os outros ramos da física, explicando todos os fenómenos físicos pelas concepções mecânicas, é, na nossa opinião, um preconceito»<sup>37</sup>. Mach termina a sua obra assumindo que a aplicação do raciocínio "mecanicista" a outros domínios da Física é altamente*

---

<sup>35</sup> ibid pág.289

<sup>36</sup> ibid pág.582

<sup>37</sup> ibid pág.597

limitativo do sucesso explicativo destas disciplinas. As outras disciplinas da Física têm que se libertar do modelo "mecanicista"...

Resta, para terminar, mostrar como esta obra de Mach, um autor claramente empenhado no programa positivista de reformulação dos fundamentos da Mecânica, marcou Einstein que na sua autobiografia escreve: «*Foi Mach o primeiro que, na sua História da Mecânica, subverteu essa fé dogmática [nos princípios da mecânica] ; e foi nisto que o seu livro teve sobre mim, enquanto fui estudante, uma influência tão profunda*»<sup>38</sup>.

---

<sup>38</sup> A.Einstein, 1980, *Autoportrait*, InterÉditions, Paris.