

CBPF-NF-055/86

CONFLITOS ENTRE OS "PRINCIPIA" DE NEWTON E OS  
"PRINCIPIA" DE DESCARTES\*,<sup>†</sup>

por

Jenner Barretto Bastos Filho<sup>1</sup>

e Roberto Moreira Xavier

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF/CNPq  
Rua Xavier Sigaud, 150  
22290 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

<sup>1</sup>Departamento de Física da Universidade Federal de Alagoas  
57000 - Maceió, Al - Brasil

\*Trabalho parcialmente subvencionado pelo CNPq e pela FINEP.

<sup>†</sup>Apresentado no 2º Colóquio de História da Ciência, na UNICAMP, por ocasião do Tri-centenário dos "Principia" de Newton, em 6 de novembro de 1986. Submetido para publicação em "Cadernos de História e Filosofia de Ciência".

## RESUMO

Procedemos neste trabalho a um confronto entre a obra "Principia Philosophiae" de Descartes e a obra "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" de Newton. Partimos da contraposição entre a massa newtoniana e a extensão cartesiana - contraposição essa que se opera nas dialéticas: atomicidade versus divisibilidade "ad infinitum" das partes, e, vacuidade versus plenitude. A partir daí, mostramos a radical diferença entre os universos conceituais de Descartes e de Newton, no que diz respeito às suas respectivas físicas.

Palavras-chave: História da Física; Filosofia da Ciência; "Principia Philosophiae" de Descartes; "Principia Mathematica Philosophiae Naturalis" de Newton; Massa newtoniana; "Res extensa" cartesiana; Quantidade de movimento; Física de Descartes; Física de Newton.

## 1 INTRODUÇÃO

A repercussão das obras de Descartes<sup>1</sup> e de Newton<sup>2</sup> foi e continua sendo bastante grande, em que pese estarmos completando trezentos anos da primeira publicação do "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" e lembrarmos que o cotidiano do homem moderno, durante esses últimos três séculos, foi profundamente alterado. Isso naturalmente, reflete a profundidade das idéias de Descartes e de Newton, idéias essas que estão longe de se esgotarem, mesmo hoje, com as grandes presenças, em cenário, das teorias eletromagnética, quântica e relativista. A importância do estudo de Descartes e de Newton diz respeito também à grande influência desses pensadores no desenvolvimento de várias ciências entre as quais a Biologia, a Economia, a Psicologia e a Sociologia. A análise dos sucessos e fracassos das rotas seguidas por tais ciências, via influência da Física do século dezessete, é tema de grande atualidade.

O nosso objetivo, neste trabalho, é mostrar a incompatibilidade entre os esquemas conceituais cartesiano e newtoniano, incompatibilidade essa a nosso ver importante, e que tem sido muito mal entendida. Diz-se comumente que Newton, a partir das contribuições de Kepler, Galileu, Descartes e outros, realizou a Grande Síntese, dando-se a impressão de que a Newton tão somente cabe o mérito de juntar harmoniosamente as contribuições esparsas de seus antepassados e contemporâneos, adicionando ingredientes conceituais próprios, resultando daí, a assim chamada Mecânica Newtoniana.

Essa concepção de justaposição não traumática das diversas contribuições é algo que pretendemos combater neste artigo, por entendermos que não corresponde à maneira pela qual o processo histórico teve lugar. Na verdade, ele foi muito mais traumático que à primeira vista se poderia esperar: os Universos Conceituais de Descartes e de Newton são tão díspares que chegam a se excluir mutuamente. Pretendemos pois, mostrar que os conceitos de massa newtoniana, densidade, atonicidade, ação à distância, força newtoniana, ação e reação, vácuo, tempo absoluto e espaço absoluto estão em contraposição ao Universo Conceitual da doutrina cartesiana.

## 2 NEWTON VERSUS DESCARTES: MASSA VERSUS EXTENSÃO

A atualidade do estudo crítico de Descartes e de Newton se reforça sobremaneira ao constatarmos que mal-entendidos acerca das semelhanças e diferenças entre as Físicas de Descartes e de Newton são muito mais frequentes do que à primeira vista poderíamos esperar. Um exemplo de um desses mal-entendidos encontra-se na discussão entre Erlichson<sup>3</sup> e French<sup>4</sup> sobre o caráter dos conceitos de Descartes e de Newton de quantidade de movimento. Em uma comunicação posterior<sup>5</sup> foi apontado que nos argumentos contidos na discussão acima citada havia implicitamente o pressuposto (errôneo) de que massa para Descartes e para Newton constituía-se exatamente na mesma coisa. No entanto, os conceitos cartesiano e Newtoniano de massa são radicalmente

diferentes. Efetivamente, o conceito newtoniano de massa é um marco por várias razões entre as quais as seguintes:

- (i) Supera-se o conceito cartesiano de massa enquanto "res extensa".
- (ii) Relaciona-se o conceito de quantidade de matéria com o de volume permitindo-se o conceito matemático de densidade, restaurando, em certo sentido, a concepção de vazio dos atomistas gregos, concepção essa que, no contexto da cosmovisão de Aristóteles, é inaceitável.
- (iii) Permite-se uma teoria mais adequada da condensação e rarefação.
- (iv) A massa passa a ser tratada como uma propriedade matemática escalar de um ponto do corpo extenso (o seu centro de gravidade e seu centro de massa) progresso este notável pois permite o tratamento de corpos extensos como pontos materiais e, conseqüentemente, o estudo adequado das órbitas planetárias.
- (v) A massa enquanto inércia.

Convém notar que o conceito newtoniano de massa é predominantemente dinâmico e suas relações com o espaço geometrizado (descrito a partir dos eixos cartesianos) e com o tempo absoluto e matemático, são profundas. A massa newtoniana é desta maneira profundamente ligada ao conceito de interação e, especificamente, de intera

ção instantânea. No quadro da física de interações não-instantâneas, o conceito newtoniano precisa ser ampliado: além de massa enquanto quantidade de matéria, há também a massa associada à energia de movimento. O conceito de inércia, desde que associado ao de energia, foi também grandemente ampliado.

(vi) A massa como fonte de campos gravitacionais.

É bom enfatizar que Newton, por não possuir explicitamente o conceito de campo, atribuído historicamente a Faraday e a Maxwell, que foram físicos do século XIX, não podia conceber massa em tal acepção, ou seja, envolvendo o conceito moderno de campo. Apesar disso, o conceito newtoniano de massa se adapta a essa interpretação.

Os historiadores da ciência adotam, uma das concepções seguintes para interpretar os feitos científicos: a continuísta e a descontinuísta. Tomemos o exemplo da formulação do conceito newtoniano de massa. De acordo com a concepção continuísta, Newton adicionou um importante ingrediente às contribuições acumuladas de Galileu, Descartes e outros, e desta maneira, propiciou a continuação do desenvolvimento da Física do século XVII. Por outro lado, pela concepção descontinuísta, considera-se que a nova contribuição, por ser qualitativamente diferente das anteriores, constitui-se em um salto, o qual, por dividir dois níveis conceituais distin-

tos, opera necessariamente um confronto, ou, se quisermos denotar diferentemente, opera uma contraposição, ou ainda, uma contraposição traumática. Optamos pela segunda de tais concepções (a descontinuista), por considerarmos ser bastante difícil, se não impossível, entender o conceito newtoniano de massa sem refutar a qualidade cartesiana de extensão como propriedade fundamental da matéria. As razões subjacentes desse conflito se operam nas dialéticas: Atomicidade versus Divisibilidade e Vacuidade versus Plenitude. Uma análise mais aprofundada desses conflitos nos propiciará tecer uma rede emaranhada de correlação entre os conceitos e, desta maneira, mostrar o contraste entre as físicas expressas no 'Principia Philosophiae' de Descartes e no 'Philosophiae Naturalis Principia Mathematica' de Newton.

A fim de explicitar o enorme contraste entre os conceitos cartesiano e newtoniano de massa, vejamos primeiramente a citação de Descartes<sup>6</sup>,

"Isto porque, quando uma parte da matéria se move duas vezes mais velozmente que uma outra, e que essa outra é duas vezes maior que a primeira, nós devemos pensar que há tanto movimento na menor quanto na maior".

e em seguida a de Newton<sup>7</sup>.

"A quantidade de matéria é a medida da mesma resultando de sua densidade e volume conjuntamente".

Como vemos, os textos acima são claros e falam por si.

Enquanto Descartes atribui à matéria extensão (parte duas vezes maior, parte duas vezes menor, etc.), Newton, para definir quantidade de matéria, necessita das propriedades de densidade e volume. Este salto é bastante importante pois, para tal, Newton precisa restaurar a atomicidade e o conceito de vácuo (vazio). Vejamos o texto da Definição I dos "Principia" de Newton<sup>8</sup>:

"Assim, o ar de densidade dupla em um espaço duplo é quadruplo em quantidade; em um espaço triplo, sextuplo em quantidade. A mesma coisa é para ser entendida da neve e das finas partículas de pó que são condensadas por compressão ou liquefação, e de todos os corpos que são por quaisquer causas diferentemente condensados. Eu não considerarei neste lugar um meio, se é que existe algum, que livremente penetre pelos interstícios entre as partes dos corpos".

Este texto é bastante rico pois contém os germes do conceito de atomismo newtoniano e já contém, além disso, a idéia de vácuo.

No seu tratado de Óptica, Newton<sup>9</sup> é bastante explícito quanto as idéias de atomicidade.

"Parece-me provável que Deus, no começo, formou a matéria



- 7 -

em partículas sólidas, compactas, duras, impenetráveis e móveis, de tais dimensões e configurações, e com outras propriedades tais, e em tais proporções com o espaço, que sejam as mais compatíveis com a finalidade para a qual Ele as formou; e que essas partículas primitivas, sendo sólidas são incomparavelmente mais duras do que quaisquer corpos porosos compostos por elas; realmente tão duras que nunca se desgastam, e não existe nenhuma força comum que seja capaz de dividir o que o próprio Deus unificou na criação original".

É interessante notar que o argumento newtoniano é centrado na concepção de que nada humano poderá fazer desgastar ou fragmentar os átomos, pois, pode-se inferir, isso iria contra Deus.

Descartes, de maneira inteiramente conflitante com a posição de Newton, irá argumentar que a atomicidade não pode ter lugar pois essa limitaria a onipotência divina. Vejamos um texto do "Principia Philosophiae" de Descartes a esse respeito, cujo título muito expressivo é<sup>10</sup>:

"Que não pode haver átomos ou pequenos corpos indivisíveis".

Mais adiante, no corpo do texto do capítulo, Descartes coloca,

"... E quando mesmo nós supusêmos que Deus houvera reduzido alguma parte da matéria a uma dimensão tão extremamen-

te pequena que ela não pudesse ser dividida em outras menores, nós não poderemos concluir daí que ela seja indivisível, pois quando Deus concebeu esta parte tão pequena que não esteja ao alcance de alguma criatura dividi-la, E le não pode se privar a si próprio do poder que Ele tinha de dividi-la pois não é possível que Ele diminua sua onipotência, como já foi enfatizado. Deste modo nós diremos que a menor parte extensa que possa existir no mundo pode sempre ser dividida, pois tal é de sua natureza"

Em relação ao conceito de vazio (interstícios) que Descartes não aceita, ele coloca no capítulo do "Princípios Philosophiae", de título "Como se faz a rarefação"<sup>11</sup>, o seguinte:

"...: isso quer dizer que tantas e quantas vezes nós vejamos que um corpo é rarefeito, nós devemos pensar que há diversos intervalos entre suas partes, os quais são preenchidos por algum outro corpo; ..."

e mais adiante

"Deste modo nós não devemos atribuir ao que está nos poros ou intervalos que suas partes não ocupam quando ele é rarefeito, mas aos outros corpos que preenchem seus intervalos; ..."

Nas citações de números 7 e 8, reproduzimos respectivamente o título da Definição I dos "Principia" de Newton e grande parte do texto dessa mesma definição.

Completando<sup>12</sup> o resto da definição:

"É essa quantidade que muitas vezes tomo a seguir sob o nome de corpo ou massa. Conhecemo-la pelo peso de qualquer corpo, pois esta é proporcional ao peso, o que achei em experiências feitas cuidadosamente com pêndulos, como se mostrará adiante".

Esta frase de Newton merece realmente destaque na medida em que, talvez, pela primeira vez na história, alguém distingue tão claramente os conceitos de massa e peso. Hoje se aprende nas escolas que um astronauta na superfície da Terra é mais pesado do que o mesmo astronauta na superfície da Lua, embora a sua massa seja a mesma tanto na superfície da Terra quanto na Lua. No entanto, foi Newton, o primeiro a formular essa importante diferença. Ainda em relação a essa frase, um outro ponto merece destaque: trata-se do fato de Newton, segundo o que ele próprio escreve, ter concluído esse tipo de coisa por vias experimentais e através de experimentos muito precisos. Isso mostra, sem dúvida, o cuidado de Newton em estabelecer conhecimentos conceitualmente delicados e sutis com o auxílio de expedientes experimentais que o ajudassem na formulação de suas sínteses teóricas — um uso criterioso e harmonioso de razão e experiência. Esse ponto, sem dúvida, distingue Newton de Descartes; esse último supervalorizava a Razão, de tal modo que nada deveria ser tomado como verdadeiro se não passasse pelo seu crivo, o mais rigorosamente possível.

No que se refere à definição II dos 'Principia' de Newton, ela difere qualitativamente da correspondente cartesiana.

Newton<sup>10</sup> nos diz o seguinte:

"A quantidade de movimento é a medida do mesmo, resultando conjuntamente da velocidade e da quantidade de matéria".

A definição oferece um excelente exemplo da radical diferença entre Newton e Descartes. Quantidade de movimento para Newton envolve os conceitos de velocidade e de quantidade de matéria; para Descartes<sup>6</sup>, no entanto, envolve os conceitos de velocidade e de extensão (volume); o conceito newtoniano é dinâmico pois contém o conceito de massa, e desta maneira se inscreve no sistema  $|MLT|$ ; o conceito cartesiano é cinemático uma vez que está inteiramente dentro do sistema  $|LT|$ . À primeira vista, poder-se-ia atribuir uma fraqueza e um futuro triste a uma física do  $|LT|$ . Schönberg<sup>11</sup> chama a atenção de que isso, longe de ser uma fraqueza, poderia indicar uma intuição profunda de Descartes, confirmada pela Mecânica Quântica Relativista, baseada no grupo de Poincaré, onde há um sistema natural de unidades no qual não está a unidade de massa.

Em relação ao caráter vetorial do momentum newtoniano, ele, claramente, não se encontra explícito na definição II dos "Principia" de Newton; no entanto, o corolário I dos "Axiomas ou Leis de Movimento" expressa a regra do paralelograma de forças. É também conveniente lembrar que o caráter de direcionalidade (um

passo quase definitivo para a conceituação de vetor) já está presente no enunciado da segunda lei. Ainda, não se deve obscurecer que a terceira lei está fortemente impregnada de um conteúdo vetorial. Esta circunstância também distingue bem a Física de Descartes da Física de Newton; Descartes, em que pese a criação da geometria analítica, não possuía o conceito de vetor; na física de Newton, o conceito de vetor, ou pelo menos os germes de sua conceituação, estão presentes e desempenham importante papel.

Para finalizar a presente seção, chamemos ainda a atenção para três pontos; o primeiro deles diz respeito à formulação moderna dos conceitos de rarefação e condensação que por sua vez requerem a restauração dos conceitos de atomicidade e vácuo; o segundo deles diz respeito ao alto grau de abstração que o conceito newtoniano de massa pode oferecer; numa equação diferencial de movimento, a massa de um corpo extenso pode ser descrita como uma propriedade matemática escalar de um ponto do corpo (o seu centro de massa e o seu centro de gravidade); o conceito de massa pontual da mecânica newtoniana não parece ser conciliável com a principal qualidade da matéria cartesiana que era justamente a extensão; o terceiro ponto diz respeito justamente à definição III dos "Princípios" de Newton. Newton apresenta a massa como medida da inércia que somente se manifesta como tal quando alguma força age sobre o corpo em questão. Essa concepção dinâmica de massa é tal que correlaciona enfaticamente massa e interação.

### 3 LEIS DE MOVIMENTO

Na seção passada mostramos a enorme diferença entre a física de Descartes e a de Newton. A de Descartes é inserida no sistema LT e baseia-se nas qualidades de extensão, divisibilidade "ad infinitum" das partes, necessidade de um meio (não-vácuo). A de Newton é uma física inserida no sistema MLT, nos conceitos de massa, atonicidade, vácuo e densidade. Evidentemente o quadro comparativo ainda carece de alguns elementos conceituais. Vejamos por exemplo a questão importantíssima da lei da Inércia.

À primeira vista, a lei da inércia parece ser um ponto comum das físicas de Galileu, de Descartes e de Newton. No entanto, há diferenças essenciais entre as formulações desses pensadores. No presente trabalho centraremos atenção apenas no que concerne ao pensamento de Descartes e de Newton.

Ao adotarmos a visão de Koyré<sup>15</sup> da revolução galileana (Abolição do Cosmo e Geometrização do Espaço) percebemos que a invenção da lei da Inércia carrega indissoluvelmente consigo a idéia de Vácuo ou seja de uma negativa da necessidade de um meio; essa é justamente a idéia de um espaço geometrizado euclídeamente (vácuo) que supera a teoria do Lugar de Aristóteles.

Após Galileu, Descartes também formulou a lei de inércia. A questão que se coloca é a seguinte: se Descartes não aceita

va o Vazio (Vácuo, interstícios), como então conciliar esse fato, com uma formulação da lei de inércia que em princípio re-quer o conceito de Vácuo? Isso foi notado em uma recente comunicação<sup>16</sup>. A fim de analisarmos, com o devido rigor, esse ponto, tomemos os textos de Descartes no "Principia Philosophiae" a esse respeito — Descartes colocou<sup>17</sup> com o título,

"A primeira lei da natureza: que cada coisa permanece no estado em que ela está, se nada vier mudá-la"

e mais adiante, no corpo do texto, cujo título reproduzimos imediatamente acima, ele escreve:

"... A primeira é que cada coisa em particular continua a estar no mesmo estado, tanto quanto possa, e que jamais ela variará senão pelo encontro de outras. Assim nós vemos todos os dias, quando alguma parte dessa matéria é quadrada, que ela permanece sempre quadrada, se não vier nada de alhures que mude a sua figura; e que se ela está em repouso, ela não começará a se mover por si mesma. Porém quando ela começar, por sua vez, a se mover, nós não temos também nenhuma razão para pensar que ela deva cessar de se mover com a mesma força se ela não encontrar nada que retarde ou pare seu movimento. De maneira que, se um corpo uma vez começou a se mover; nós devemos concluir que ele continuará doravante a se mover e que jamais ele conseguirá parar por si mesmo"

É evidente que Descartes parte do presuposto racionalista de que se algo é quadrado, continuará quadrado desde que nada lhe venha alterar a forma. Do mesmo modo o repouso e o movimento continuarão exatamente os mesmos caso nada venha a alterá-los. Ao capítulo seguinte <sup>1º</sup> de seus "Principia" Descartes dá o título:

"Porque os corpos atirados da mão continuam a se mover, após serem abandonados"

e no corpo do texto:

"... Não há outra razão pela qual eles continuem a se mover quando passarem a ser abandonados pela mão que os atirou, senão que, seguindo as leis da natureza, todos os corpos que se movem continuam a se mover até que esse movimento seja interrompido por quaisquer outros corpos. É evidente que o ar e os outros corpos líquidos, entre os quais nós vemos essas coisas se moverem, diminuem pouco a pouco a velocidade de seu movimento; nós podemos mesmo sentir na mão a resistência do ar se nós sacudirmos rapidamente um leque que esteja estendido, e não existe corpo fluido sobre a terra que não resista, ainda mais manifestamente que o ar, aos movimentos de outros corpos".

É interessante analisar uma peculiaridade do pensamento cartesiano: ele considera que o corpo atirado pela mão prossegue o seu movimento ao ser pela mesma abandonado, pois tende a



conservar, até que algo venha perturba-lo, o seu estado de movimento. No entanto, o corpo para, devido à resistência do ar. A peculiaridade é centrada justamente no fato de que a "lei da natureza" seria completamente verificada se nada houvesse (vácuo) que submetesse ao corpo uma variação de seu estado de movimento. No entanto Descartes, por não aceitar o vácuo, não admite isso. Possivelmente, para Descartes, o movimento "ad infinitum" dar-se-ia em um meio extremamente sutil.

Analisemos agora o importantíssimo capítulo<sup>19</sup> de título:

"A segunda lei da natureza: que todo corpo que se move tende a continuar seu movimento em linha reta".

Descartes analisa a questão da pedra na funda; quando submetida à mão, a pedra realiza um movimento circular; ao ser abandonada, ela prossegue em linha reta. Descartes, vai além de Galileu que atribuía também a possibilidade de uma inércia em movimento circular.

É sem dúvida, digno de nota, o fato de uma lei de inércia ser formulada sem o conceito de massa, no contexto de uma física do LT, ou ainda, uma inércia fora do contexto de interação. No entanto, quando Descartes se refere ao quadrado, que permanecerá sempre quadrado até que alguma coisa lhe altere a forma e a figura, já existe, se bem que fora do contexto dinâmico propriamente dito, os germes do conceito de interação. Caso não haja interação o quadrado permanecerá tal e qual; caso ha-

ja, ele terá sua forma e sua figura, modificadas. A formulação ou não de uma lei de inércia fora de um contexto dinâmico por Descartes é algo controvertido na literatura (ver Jammer<sup>20</sup> e Tonnelat<sup>21</sup> por exemplo).

A lei de inércia ou primeira lei de movimento na formulação newtoniana<sup>22</sup>, aparece com toda sua presença dinâmica.

"Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja compelido a mudar seu estado por forças impressas nele".

A dinâmica newtoniana entra em cena muito expressivamente na segunda lei<sup>23</sup>:

"A mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa, e se faz segundo a linha reta pela qual essa força é impressa."

e na terceira lei<sup>24</sup>,

"A uma ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações de dois corpos, um sobre o outro, sempre são iguais e se dirigem a partes contrárias".

O conceito de Força é outro divisor de águas entre as Físicas de Newton e Descartes. A impossibilidade de o esquema conceitual cartesiano conter a força newtoniana, se pode demons-

trar. Na formulação da segunda lei, Newton conceitua força motriz como proporcional a mudança do movimento (entenda-se mudança temporal); na definição II, a quantidade de movimento (newtoniana) é postulada como medida do mesmo, ou seja, do movimento; conseqüentemente o conceito newtoniano de força requer elementos não presentes (por impossibilidade) na física de Descartes, a saber, a massa, a quantidade de movimento newtoniana e ainda o conceito de vetor.

Descartes, em não aceitando o vácuo, necessita de uma matéria extremamente sutil, tal como por exemplo está colocado no primeiro discurso de "Meteoros"<sup>25</sup>, a fim de que seja possível a propagação da luz.

Este ponto é importante pois Descartes, tal como se diz jocosamente, por ter sido um lógico, não seria suficientemente mágico para conceber uma ação que se propagasse instantaneamente no vácuo.

Ora, a validade da terceira lei da mecânica newtoniana, a famosa ação e reação, requer necessariamente que as ações mútuas comuniquem-se instantaneamente. A necessidade da comunicação instantânea pode ser entendida a luz da conservação da quantidade de movimento newtoniana. Sejam por exemplo dois dados corpos; a quantidade de movimento newtoniana total será num dado tempo  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ . Seguindo Newton, força é mudança de movimento; deste modo a mudança temporal será  $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt}$

A quantidade de movimento total se conservará em todos os

instantes, logo  $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$ . Disso decorre que  $\frac{d\vec{p}_1}{dt} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt}$   
 ou  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ . (Usamos aqui uma notação moderna)

As durações das variações temporais dos dois movimentos têm que ser as mesmas. A questão da instantaneidade é outra coisa, pois, as durações poderiam ser as mesmas se as respectivas variações de movimento de cada um dos corpos começassem em tempos diferentes. Acontece que, se assim fosse, durante os instantes nos quais um dos corpos estivesse variando o seu movimento, e o outro ainda não, a conservação da quantidade de movimento total não seria conservada.

Se nós quisermos que a quantidade de movimento newtoniana seja conservada em todos os instantes, a instantaneidade das ações tem que desempenhar um papel central. As ações instantâneas a distância, que formam uma das características mais centrais da física newtoniana, não são inteligíveis para Descartes.

É mister salientar que isso está muito relacionado com o conceito de Tempo Absoluto que Newton apresenta no 1º Escólio dos "Principia", após ter conceituado massa, quantidade de movimento, inércia, e força. O tempo absoluto (newtoniano) que flui igualmente, independente de qualquer coisa externa, está fortemente correlacionado com a instantaneidade das ações. No contexto de uma linguagem moderna, envolvendo o conceito de propagação de sinal, diríamos que se as ações são propagadas instantaneamente, todos os observadores inerciais medirão "tempos

próprios" exatamente iguais; conseqüentemente, o tempo será absoluto e se inscreve perfeitamente bem na definição do 1º Escólio dos "Principia" de Newton. A massa newtoniana correlaciona-se com a temporalidade absoluta e com a instantaneidade das ações. Tanto isso é verdade, que no contexto de uma física de ações não instantaneas (teoria da relatividade), além da massa enquanto quantidade de matéria (massa newtoniana), aparece também a massa enquanto energia.

Recentemente, Jonathan Powers<sup>26</sup> publicou um ensaio bastante interessante com relação ao qual gostaríamos de tecer alguns comentários. Powers defende a tese segundo a qual a lei da ação e da reação é a pedra angular da mecânica newtoniana. A lei da inércia, a primeira lei de movimento, consiste numa tautologia. A tautologia se inscreve no seguinte: se a força total agindo sobre um dado sistema é zero, então, o sistema é inercial; de maneira análoga, sistema inercial é todo aquele sobre o qual age uma força igual a zero. A segunda lei consiste na definição de força. A terceira lei desempenha um papel bastante central uma vez que permite do ponto de vista prático instrumentalizar a mecânica pela eliminação das forças internas. Além disso, ela dá sentido ao conceito de espaço absoluto e ao conceito de sistema inercial.

Isso ocorre pelo seguinte: considere um dado sistema de partículas em interação. Na descrição do movimento dessas partículas, as forças internas se anulam pela terceira lei, de modo que o movimento do sistema, como um todo, pode ser descrito apenas em função das forças externas bem conhecidas, isto é, de

vidas a agentes bem identificados. Entre estes agentes e o sistema inicial de partículas, novamente vale a terceira lei. Isto, entretanto, só ocorre em um referencial inercial. No caso de um referencial não-inercial, surgem as chamadas "forças fictícias" ou "forças de inércia", como as forças centrífuga e de Coriolis, para as quais, em geral, não é possível aplicar a terceira lei, já que não são devidas a agentes, mas sim ao movimento em relação ao "espaço absoluto".

Uma tentativa de dar sentido físico às forças de inércia, foi feita por Mach - o que levava a procurar um agente externo (no caso, as estrelas espalhadas no universo), cuja atração gravitacional se alteraria no referencial rotatório.

Pode-se mostrar que esta visão de Mach conduz a graves problemas no interior do Sistema de Newton, (por exemplo, a massa deixa de ser aditiva) e, na verdade, abre o caminho para a relatividade geral, na qual não há, evidentemente, propagação instantânea da interação.

Desse modo, nós vemos que a terceira lei dá um sentido instrumental à noção de espaço absoluto. Além disso, ela exige a propagação instantânea das propagações, que se relaciona com o tempo absoluto e, como mencionamos anteriormente, com a conservação da quantidade de movimento vetorial que, por sua vez, exige a noção de massa newtoniana. Note que nenhum desses conceitos é compatível com o Sistema de Descartes.

Um comentário que consideramos relevante diz respeito à massa pontual newtoniana — o próprio conceito de massa pontual é tal que elimina as forças internas nos corpos extensos; estes são tratados como pontos materiais que interagem instanta-

neamente aos pares, sendo a descrição inteiramente equivalente, quaisquer que sejam os sistemas inerciais. É evidente que o conceito de massa pontual contrapõe-se fundamentalmente à propriedade fundamental da matéria na física cartesiana: a extensão.

Teçamos ainda algumas considerações acerca do fenômeno da gravitação. A fim de melhor situar o problema, nos reportemos brevemente a Copérnico, Kepler e Galileu. Copérnico ao combater o sistema geocêntrico de Ptolomeu, e toda a parafernália dos epíclis, ao introduzir seu sistema heliocêntrico, opera importante progresso; as contribuições de Kepler ao estudo do movimento dos corpos celestes são de grande relevância. Galileu ao operar a grande revolução da Abolição do Cosmos e da geometrização Euclideana do Espaço (interpretação de Koyré) passa a olhar os fenômenos celestes sem o "respeito" que a "substância etérea" outrora merecia, o que se consubstancia na ousadia com a qual observa os períodos das luas de Júpiter sem se importar com o destino das "esferas de cristal" dos Céus dos Aristotélicos. A circunstância de se contemplar os fenômenos terrestres e celestes em conjunto implica necessariamente em começar a se olhar a matéria celeste e terrestre em pé de igualdade. Galileu opera essa importante revolução porém a sua física, em que pese ele ter estudado fenômenos celestes importantes, é muito mais centrada nos movimentos ao nível da superfície da terra.

Descartes por se propor a escrever uma "filosofia e ciên-

cia verdadeiras" ataca em todas as frentes. Por não aceitar o vácuo, os fenômenos celestes, no contexto de sua doutrina, requererão um Pleno no qual as ações sejam comunicadas através dos turbilhões dessa matéria sutil.

A gravitação é uma pedra no sapato tanto de Descartes quanto de Huygens. Huygens, inclusive, limita-se a tratar da gravidade terrestre percebendo a dificuldade do complexo fenômeno da gravitação. Koyré<sup>27</sup> considera que a teoria dos vórtices não seria compatível com a Ótica de Descartes, pois assim a luz não se propagaria em linha reta. Newton ataca a teoria dos vórtices no Escólio geral dos "Principia" como incompatível com o fenômeno de gravitação. Notável em Newton é que a sua física não se limita ao nível das forças de contato no mundo da superfície da Terra e aos corpos celestes — A sua ação e reação vale para Terra e Sol, para Sol e Júpiter e para quaisquer outros pares de corpos celestes. Como então explicar as misteriosas e mágicas causas dessa gravitação universal? Não faço hipótese, o inverso do quadrado das distâncias é a lei, e tudo se passa como se assim fosse; essas eram as atitudes de Newton, em completa oposição ao rigoroso racionalismo cartesiano. Passados 300 anos, em que pese a teoria geral da relatividade, não há uma teoria quântica da gravitação satisfatória; e as causas da gravitação continuam não conhecidas suficientemente e o campo gravitacional não pertence a uma categoria de campo unificado a exemplo da recente unificação das interações eletromagnéticas e nucleares fracas de Salam e Weinberg.



#### 4 OBSERVAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

É realmente digno de nota o fato de Newton, ao longo de todo o "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica", não citar Descartes apesar de já na primeira linha começar a contestar a "res extensa" cartesiana. Claramente, Newton conhecia Descartes, como conhecia outros gigantes do século XVII, explicitamente citados nos "Principia", como Galileu, Huygens e outros. No final dos "Principia", no Escólio geral, Newton ataca a teoria dos Vórtices, mais uma referência a obra de Descartes sem citá-la. Isso significa que a contraposição à obra de Descartes, principalmente ao "Principia Philosophiae", está presente do começo ao fim dos "Principia" de Newton.

Nós mostramos neste trabalho que ao aprofundarmos o sentido da contraposição entre a massa newtoniana e a extensão cartesiana ao longo de um caminho envolvendo as dialéticas Atomicidade x Divisibilidade 'ad-infinitum' e Vacuidade x Plenitude chegamos a dois universos conceituais conflitantes, qualitativamente diferentes. A síntese, de que falamos na introdução deste artigo, somente pode ser bem entendida, se a considerarmos traumática.

## REFERÊNCIAS

1. Descartes, R., Les Principes de la Philosophie, Oeuvres et Lettres, Bibliothèque de la Pléiade (1952)
2. Newton, I., Mathematical Principles of Natural Philosophy, The Great Books, Britannica (1978)
3. Erlichson, H., Am. J. Physics, 53, 497 (1985)
4. French, A.P., Am. J. Physics, 53, 499 (1985)
5. Bastos Filho, J.B., Am. J. Physics, 54, 201 (1986)
6. Descartes, R., referência 1., parte II §36 p. 632
7. Newton, I., referência 2., Definição I, p. 5
8. Newton, I., referência 2., texto da definição I p.5
9. Newton, I., Óptica, citado a partir do livro "O ponto de mutação" de F. Capra
10. Descartes, R., referência 1., parte II §20, p. 622
11. Descartes, R., referência 1., parte II §6, p. 614
12. Newton, I., referência 2., continuação da definição I p.5
13. Newton, I., referência 2., definição II, p.5
14. Schönberg, M., Pensando a física, Editora Brasiliense p.51
15. Koyré, A., Études Galiléennes, Editora Hermann, Paris (1966), p.15
16. Bastos Filho, J.B., Ciência e Cultura (Suplemento) Vol. 38 p.417 (1986), 38a. Reunião Anual S.B.P.C. - Curitiba-PR julho de 1986.
17. Descartes, R., referência 1., parte II, §37, p. 633
18. Descartes, R., referência 1., parte II, §38, p. 634
19. Descartes, R., referência 1., parte II, §39, p. 634

20. Jammer, M., Storia del concetto di massa, Feltrinelli Milano (1974) p. 65 e páginas seguintes do capítulo VI.  
Segundo Jammer, Descartes não tinha o conceito da inércia.
21. Tonnelat, M.A., Histoire du Principe de Relativité, Flammarion, (1971) p.54 e p.61-62  
Ver a esse respeito também as referências seguintes:  
I.B. Cohen, Revolution in Science  
Harvard University Press (1985) p. 155;  
A. Koyré, Études Newtoniennes, Gallimard Paris (1968) p.103  
Koyré comenta que Newton toma o princípio da inércia de Descartes.
22. Newton, I., referência 2., Lei I, p.14
23. Newton, I., referência 2., Lei II, p.14
24. Newton, I., referência 2., Lei III, p.14
25. Descartes, R., Les Météores, Discurso primeiro, Oeuvres Choisies de Descartes Librairie Garnier Frères (Paris)  
p. 191 (Tomo primeiro)
26. Powers, J., Philosophy and the new physics, Ed. Methuen INC London (1982) Capítulos 1 e 2
27. Koyré A., Études Newtoniennes, Gallimard Paris (1968) p.116-119.