

4

A metafísica relacionada à Filosofia Natural de Newton

“É óbvio que Newton teria preferido que o Sol e a Terra estivessem ligados por cordas.” (MAGUEIJO, 2003, p.57).

4.1

A Metafísica

Sob a luz da discussão estabelecida no capítulo anterior, perguntamos: Qual teria sido, de fato, a importância da metafísica para a Filosofia Natural de Newton? De acordo com Stein (2002, p.256), erroneamente, a palavra “metafísica” foi e ainda é raramente associada à obra de Newton. Argumentamos que, Stein talvez tivesse toda razão ao fazer tal afirmação, embora a metafísica no sentido filosófico de “(...) aquilo que está além da Física, que a transcende.” (JAPIASSÚ & MARCONDES, 1999, p.180) permeasse os escritos de Newton, com destaque especial para a Seção I do Livro I, o “Escólio Geral”, ambos dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, os textos *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos*, publicado entre a primeira e a segunda edição dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* e *Do Ar e Do Éter*, único texto inacabado do filósofo e, a Questão 31 da *Ótica*.

Vimos no capítulo anterior que a primeira diferença entre as metafísicas de Newton e de Descartes seria a própria definição de metafísica. Newton não acreditava que a metafísica fosse a “raiz” da Filosofia Natural, como pensava Descartes. Segundo Newton, haveria “algo mais”. No entanto, para Descartes e seus seguidores, as regras da natureza teriam suas origens somente na perfeição Divina, enquanto que, para Newton, essas regras não estariam tão bem estabelecidas. Newton concebia a relação entre Deus e a natureza de forma diferente de Descartes. Em correspondência enviada ao teólogo Richard Bentley em 1693, Newton escreveu:

(...) a gravidade pode pôr os planetas em movimento, mas, sem o poder divino, jamais poderia colocá-lo num movimento circular como o que eles descrevem em torno do Sol; e, portanto, por essa e outras razões, sou obrigado a atribuir a

estrutura desse sistema a um agente inteligente. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.406).

Newton, na citação acima, deixou claro que Deus não teria atribuído a substância que compõe os corpos físicos uma determinada “quantidade de movimento” capaz de fazê-los se movimentarem, como afirmado por Descartes. Deus seria o responsável pela criação e manutenção “daquilo” que movimentava os planetas, pois Ele era um “agente inteligente” e não somente um grande provedor das coisas. Nessa mesma correspondência, Newton reforçou: “(...) não conheço nenhum poder na natureza que pudesse causar esse movimento (...) sem a mão de Deus.” (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.406).

E nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton reafirmou sua metafísica original e crença Divina:

(...) e, para que os sistemas das estrelas fixas, por sua gravidade, não caíssem uns sobre os outros, ele [Deus] os situou a imensas distâncias uns dos outros. Esse ser [Deus] rege todas as coisas, não como a alma do Universo, mas como o senhor de todas as coisas (...) (NEWTON, 1999, p.940).

Ao contrário dos cartesianos, Newton acreditava que o nosso conhecimento de Deus provinha somente de Sua imensa sabedoria, Sua excelente idéia das coisas e das causas finais. Estas eram as bases de sua metafísica e foram estas crenças que permitiram a Newton conceituar as bases de sua Física: o espaço, o tempo e o movimento absolutos; as forças e a massa. Novamente, em suas próprias palavras, Newton enalteceu o caráter “inteligente” de Deus ao interagir com o sistema planetário:

(...) comparar e ajusta todas essas coisas [relativas ao movimento planetário] em conjunto, numa variedade tão enorme de corpos, demonstra que essa causa não é cega nem fortuita, mas muito versada em mecânica e geometria. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.403).

Para Newton, a existência de Deus e Seus feitos -- base da metafísica cartesiana -- não seriam suficientes para o estabelecimento da existência de todas as características naturais de nosso ambiente - considerado o maior provedor de problemas científicos a serem resolvidos. Vale ressaltar que, tanto para Newton quanto para Descartes, era da natureza que surgiam as grandes questões científicas, porém a diferença entre os filósofos estaria na forma de explicar a causa e o “funcionamento” destas questões - tanto fisicamente quanto

metafisicamente. Enquanto Descartes, ainda num resquício aristotélico, observava a natureza mais do que a experimentava, Newton se revelou um exímio experimentador. Sobre a diferença entre a experimentação e a observação, Cohen esclareceu:

A observação, entretanto, não é idêntica à experimentação. A observação tende a ser passiva, aceitando os dados que a natureza oferece. A experimentação interroga ativamente a natureza, fazendo perguntas que a natureza pode não responder espontaneamente e definindo as condições em que as perguntas podem ser formuladas, idealmente, de modo que torne as respostas inambíguas. (COHEN *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.187).

Newton pensava que a matemática, a geometria e tudo o que se pode saber sobre os corpos fundamentar-se-iam na natureza, ou seja, no *experimentum* e assim, tudo o que saberíamos ou conheceríamos sobre os corpos seriam a “ ‘extensão’, ‘dureza’, impenetrabilidade, mobilidade e *vis inertiae*” (NEWTON *apud* STEIN, 2002, p.262). Já para Descartes, a extensão era o único conhecimento verdadeiro que teríamos sobre um corpo - a única coisa clara e distinta que saberíamos sobre o corpo.

Essa base experimental foi o fundamento da epistemologia newtoniana e estava diretamente ligada à sua metafísica. Além disso, Newton não fazia uma distinção entre Filosofia primeira -- metafísica -- e Filosofia Natural, como faziam os cartesianos. Em outra correspondência a Bentley, datada de 1692, Newton reforçou sua idéia sobre a relação Deus/natureza, isto é, metafísica/Filosofia Natural, afirmando que: “(...) os movimentos que os planetas têm agora não poderiam brotar de nenhuma causa natural isolada, mas foram imprimidos por um agente inteligente [Deus].” (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.402).

4.2

O Problema do Movimento

Vimos também no capítulo anterior que, Descartes havia definido o movimento como um deslocamento de uma parte da matéria, ou de um corpo, de uma vizinhança de corpos que o tocam para outra vizinhança, estando ambas vizinhanças em repouso. Contrariando essa definição, Newton afirmou que,

quando uma quantidade de matéria fosse transladada de uma parte da extensão, isto é, do espaço absoluto, para outra, podemos dizer que ocorreu um movimento absoluto, independente das vizinhanças em repouso -- referenciais -- como afirmaram os cartesianos. Segundo Newton, o movimento absoluto surgiu como uma consequência direta da própria definição de lugar e movimento - como veremos mais adiante em suas “Definições” apresentadas no texto *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos*. Acreditamos ser de suma importância resumir algumas bases da Física Newtoniana, apresentadas nas “Definições” dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* - os termos espaço, tempo e movimento absolutos e suas relações com seus pares relativos²⁵:

a) Espaço Absoluto: era o espaço que não teria relação com as coisas externas, isto é, o espaço que não dependeria dos corpos ou de outra coisa qualquer para existir. Este espaço se caracterizaria pela sua imutabilidade eterna. O espaço absoluto seria diferente do espaço relativo cuja existência se daria por contraste dos corpos ou de outra coisa qualquer nele colocado.

b) Tempo Absoluto: era o tempo que, como o espaço absoluto, independeria das coisas externas. Era o tempo “matemático e verdadeiro”, também chamado por Newton de duração. O tempo relativo era a medida desta duração que envolve as coisas externas, por exemplo: o tempo que a Terra levaria para girar em torno do Sol.²⁶

c) Movimento Absoluto: era a translação de um corpo de um lugar do espaço absoluto para outro. Por analogia, o movimento relativo seria a translação de um corpo de um espaço relativo para outro.

Segundo Cohen (2002, p.174), D. T. Whiteside, comentador e profundo conhecedor da matemática newtoniana, afirmou que ao definir o espaço, o tempo e o movimento absolutos como “matemáticos e verdadeiros”, Newton estaria

²⁵ A interessante definição dos termos espaço-tempo e movimento “absoluto” e “relativo”, dada por Michael Ghins, encontra-se no Anexo I.

²⁶ O poeta Carlos Drummond de Andrade disse no poema *Cortar o Tempo*: “Quem teve a idéia/de cortar o tempo em fatias,/a que se deu o nome de ano,/foi um indivíduo genial.” (ANDRADE, <http://memoriaviva.digi.com.br/drummond/verso.htm>, 2005). Estaria o poeta, a seu modo, falando dos tempos absoluto e relativo?

provando aos seus leitores e interlocutores que haveria uma distinção clara entre estes conceitos na matemática e na Física. Como vimos no Capítulo 2, Newton se utilizou largamente da matemática para chegar a verdades físicas, porém, como grande experimentador que era, sabia que o espaço, o tempo e o movimento da Física eram outros - não poderiam ser absolutos, “matemáticos e verdadeiros”, como seriam na matemática.

Retomando nossa análise do problema do movimento, assim como os *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* foram considerados como uma das principais obras de Filosofia Natural de todos os tempos, Stein (2002, p.263) e McGuire e Rattansi (2002, p.140) classificaram o texto *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos*, escrito entre a primeira e a segunda edição dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, como o mais importante ensaio metafísico de Newton. Como nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton iniciou *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos* com definições básicas, porém dessa vez envolvendo os conceitos de corpo, lugar e movimento, sem se ater aos termos “absoluto” ou “relativo”. Essas definições não foram alteradas ao longo do tempo pelos estudiosos da Filosofia Natural de Newton, apenas aprimoradas. Conforme descritas por Newton originalmente, seguem as “Definições”:

Definições¹

Os termos *quantidade*, *duração* e *espaço* são tão bem sabidos para serem suscetíveis de definições em outros termos.

Def: I. Um lugar é uma parte do espaço que uma coisa preenche adequadamente.

Def: II. Um corpo é aquilo que preenche um lugar.

Def: III. Repouso é permanecer no mesmo lugar.

Def: IV. Movimento é mudar de lugar.

Nota: Eu disse que um corpo preenche o espaço, isto é, preenche em sua totalidade a ponto de excluir corpos do mesmo tipo ou de outros tipos, se ele for do tipo impenetrável. Lugar pode ser definido, de certo modo, como sendo uma parte do espaço na qual uma coisa é uniformemente distribuída; mas como somente corpos são aqui considerados como coisas não penetráveis, eu preferi definir lugar como a parte do espaço que é preenchida por coisas. (NEWTON, 1978, p.122).

Após a exposição das “Definições”, vemos que Newton redigiu uma interessante nota explicativa sobre elas. A análise de Stein (2002, p.264) sobre esta nota, nos chamou atenção para o seguinte fato: o espaço mencionado na “Def.

I” estaria preenchido o suficiente para excluir a presença de outro corpo, a menos que este espaço fosse composto de matéria penetrável, como os líquidos ou os gases. Por mais óbvia que essa afirmação possa parecer, pensamos que, antes de Newton, nenhum outro filósofo da natureza definiu a relação espaço/corpo com tamanha riqueza de detalhes. Descartes, pelo menos, não o fez. Essa nota, além de mostrar a importância que Newton dava a questão da impenetrabilidade dos corpos, pois, como veremos mais adiante, a impenetrabilidade seria uma característica fundamental do corpo, ela nos traz também uma idéia de lugar completamente diferente da confusa idéia cartesiana, mencionada no capítulo anterior. Newton procurou detalhar, o máximo possível, o conceito de lugar, extremamente importante para sua Filosofia Natural.

O lugar newtoniano era uma parte do espaço específica: a parte que os corpos ocupavam, quaisquer corpos, inclusive aqueles compostos de matéria penetrável. Newton também acreditava que este lugar poderia ser absoluto ou relativo, dependendo do espaço que ele ocupava - espaço absoluto ou relativo. O filósofo distinguiria também a “posição” que um corpo ocupava no espaço, do “lugar” que ele ocupava. Para Newton, as “posições” seriam propriedades dos “lugares”. E foi o próprio Newton que fez esta distinção: “(...) os lugares de sólidos iguais são sempre iguais, mas suas superfícies, em função de suas diferentes formas, são com frequência desiguais.” (NEWTON, 1999, p.409).

Em seu texto inacabado, *Do Ar e do Éter*, presumidamente escrito entre 1673 e 1675, Newton já demonstrava um grande interesse na questão da impenetrabilidade dos corpos. Como vimos anteriormente e exploraremos detalhadamente mais adiante, esta impenetrabilidade seria uma das coisas que necessariamente conheceríamos sobre a matéria, além da extensão cartesiana. Inicialmente, sobre a impenetrabilidade, tratada como repulsão, Newton nos disse que:

Muitas opiniões podem ser oferecidas a respeito da causa dessa repulsão. É possível que o meio interveniente ceda com dificuldade ou não suporte ser muito comprimido. Ou Deus pode ter criado uma certa natureza incorpórea que procura repelir os corpos e torná-los menos compactados. Ou isto [impenetrabilidade ou repulsão] pode estar na natureza dos corpos não apenas por eles terem um núcleo sólido e impenetrável, mas também terem uma certa esfera circundante de matéria fluida e tênue, que repelem os corpos mutuamente. (NEWTON, 1978, p.223).

Dando prosseguimento a análise das “Definições”, pensamos como Stein (2002, p.264) que Newton chamou a atenção para o fato de que elas teriam surgido a partir da crítica à doutrina cartesiana como um todo, crítica esta que servira como um “motor metafísico” na construção de sua Física. As duas doutrinas -- cartesiana e newtoniana -- faziam uma distinção entre corpo e espaço, porém, a diferença estava relacionada ao movimento: a) Newton determinaria o movimento em relação ao espaço absoluto e não em relação à contigüidade dos corpos, como ditavam os cartesianos e b) Newton iria criticar a divagação metafísica de Descartes sobre a substância e suas características e refutaria as teorias sobre o espaço, o corpo e o movimento cartesianos.

4.3

O Problema do Espaço

4.3.1

A Natureza do Espaço

Para Cohen & Smith (1999, pp.2-3), a refutação de Newton à tese cartesiana do espaço, do corpo e do movimento foi feita em dois pontos de ataque distintos. No primeiro ponto, Newton argumentou que Descartes procedeu de forma inconsistente e inadequada em relação à sua tese do movimento celestial e do movimento circular em geral. Lembramos que, para Descartes, os planetas eram levados em torno de um Sol central, através de um fluido denominado vórtice -- *vortex* -- e, conseqüentemente, todos os planetas incluindo a Terra, estariam em repouso em relação ao corpo vizinho que, neste caso, seria o próprio vórtice. Para Descartes, esta era uma questão relativa à matéria que constituía os planetas e não relativa ao movimento, visto que o movimento, apesar de ser importante para sua Filosofia Natural, era um modo da matéria extensa. Segundo Gaukroger, em sua obra *O Mundo*, Descartes teria afirmado que:

(...) os corpos mais pesados, (...), são empurrados pela força centrífuga para a periferia e seguem um curso que passa pelos diferentes sistemas solares [cometas]. Os menos maciços acabam entrando em órbitas estáveis -- quanto menos maciços, mais próximos do centro -- e, uma vez nessa órbita, são simplesmente carregados pelo fluido celeste em que estão imersos [vórtice]. (GAUKROGER, 1999, p.314).

Newton discordava de Descartes sobre a questão do movimento ser relativo à matéria. Para ele, o movimento era uma simples “mudança de lugar” que nada tinha haver com a matéria e sua constituição primeira. Assim, quando uma quantidade de matéria, ou melhor, um corpo, era transladado de uma parte do espaço para outro, poderíamos dizer que ocorreria um movimento, independente da existência de “vizinhanças em repouso”. Entretanto, para Descartes, o movimento era uma “transferência” do corpo, ou uma parte deste, de uma “vizinhança” contígua para outra, sendo que estas “vizinhanças” eram outros corpos que estariam em repouso com relação ao corpo que se moveria. O movimento era um “modo” do corpo, isto é, relativo à matéria. Destarte, como veremos mais a frente, Newton não necessitava do vórtice para explicar o movimento em geral e particularmente, o movimento celeste - as forças newtonianas agiam no vazio. E sobre a existência dos vórtices e sua influência sobre os cometas²⁷ cujo movimento era mal explicado pela teoria de Descartes, Newton desabafa:

O movimento dos cometas são extremamente regulares, observam as mesmas leis dos movimentos planetários e não podem ser explicados pelos vórtices. Os cometas se locomovem em movimentos muito excêntricos por todas as partes dos céus, o que não poderia acontecer a menos que o vórtice fosse eliminado. (NEWTON, 1999, p.939).

Apesar desta citação, Newton criticaria mais duramente um outro aspecto da teoria cartesiana do movimento: a afirmação de que os objetos -- planetas -- tenderiam a se afastar do centro do círculo onde estaria o Sol. Como visto no capítulo anterior, Descartes acreditava que o movimento natural dos corpos era retilíneo. No caso do movimento circular -- movimento dos planetas ou movimento “impedido” -- este só se daria devido a um impedimento da força que empurra o corpo radialmente, fazendo com que “surgisse” uma força que o puxaria para dentro, gerando uma curvatura no movimento - o movimento circular. Vimos também, que a origem desse “impedimento” seria o próprio vórtice.

²⁷ Sobre os cometas, até Newton, o movimento destes era considerado como uma coisa totalmente irregular e que nada tinha a ver com o movimento dos planetas - isto aparece muito bem, por exemplo, na teoria de Descartes. No final deste capítulo veremos como Newton mostrou que até o movimento dos cometas poderia ser explicado pela Lei do Inverso do Quadrado da Distância.

Para Newton, o movimento circular se daria devido à ação de uma “força centrípeta” e esta força era dirigida para o centro da curvatura do movimento. A “força centrípeta” serviu de base para quase todos os cálculos da física de Newton apresentados nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Era esta força que tirava o corpo do movimento retilíneo e o “puxava” para o centro de um círculo e era oposta a “força centrífuga” que fazia com que o corpo se afastasse do centro do movimento²⁸.

Retornando a definição do movimento circular, segundo Newton, não poderia haver “impedimento” algum do movimento planetário, pois: a) não haveria “matéria sutil” -- *vortex* -- circundando os planetas e b) o movimento não seria uma questão relativa à matéria e sim a força que agia sobre o corpo. Sobre o movimento circular newtoniano, contrapondo ao cartesiano e à existência do vórtice, Brackenridge nos disse que:

Jo Dobbs tem argumentado que a conjuntura Cartesiana dos vórtices celestiais foi destruída quando Newton demonstrou que a lei das áreas estava correta. Se as colisões mecânicas com o éter celestial varressem os planetas, então aquele éter deve dar também alguma resistência ao movimento. Na análise do movimento de projéteis terrestres, o caminho real na atmosfera difere do caminho parabólico ideal calculado sob a hipótese de não [haver] resistência. Na análise do movimento planetário celeste, o caminho real no *vortex* não difere do movimento celestial ideal no qual áreas iguais são varridas em tempos iguais. Newton definiu a lei das áreas sob a hipótese da não resistência, e visto que observações planetárias são consistentes com esta lei, então o éter não oferece resistência mensurável para o movimento, e conseqüentemente o *vortex* não pode ser a fonte do movimento celestial. (BRACKENRIDGE, 2001, p.112).

Para ilustrar “matematicamente” nossa análise do movimento circular, na “Proposição 2”, “Teorema 2”, do Livro I, dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton postulou:

Todo corpo que se move em qualquer linha curva descrita em um plano e, por [meio de] um raio traçado até um ponto, [seja este] imóvel ou que se mova com um movimento retilíneo uniforme e, descreva em torno deste ponto áreas proporcionais aos tempos, é incitado por uma força centrípeta que tende em direção a este mesmo ponto [no centro da curvatura]. (NEWTON, 1999, p.446).

²⁸ Conforme os escritos dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, para Newton, havia vários tipos de forças distintas, contrariando a tese de Descartes da existência de uma única força - a “força do corpo em movimento”. Estas forças foram definidas por Newton como: inercial, percussão, pressão, centrífuga, centrípeta e a do corpo em movimento, sendo que nenhuma delas necessitava da existência do vórtice como meio de ação.

Na segunda parte de sua argumentação, Newton mostra que os princípios cartesianos básicos do movimento não poderiam ter sido formulados sem o conceito de referencial e, além disso, de acordo com Newton, esse conceito -- da forma que foi utilizado por Descartes -- só teria confundido ainda mais a definição cartesiana de movimento. Na análise de Cohen & Buchwald (2001, p.xiii), Newton concordava com Descartes em relação às duas leis que tratavam dos corpos em movimento - Leis I e II. O filósofo teria se inspirado na Lei I de Descartes ao redigir sua Definição 3 -- sobre a *vis insita* -- e parte de sua Primeira Lei do Movimento - Lei da Inércia. Nas palavras dos comentadores: “Newton toma de Descartes o conceito de 'estado' de movimento ou de repouso e desenvolve as idéias de Descartes numa formulação própria da Definição 3 e da Lei I.” (Cohen & Buchwald, 2001, p.xiii).

Porém, contrariando em parte Cohen & Buchwald, preferimos utilizar o termo “parcial” para definir o envolvimento de Newton com as Primeira Lei do Movimento de Descartes porque, pela Lei I, os corpos não teriam uma velocidade determinada ou uma direção definida para que fossem considerados em movimento, pois, para Descartes: “Toda e cada coisa, (...), sempre permanece, até quando puder, no mesmo estado [de movimento], a não ser que causas externas nela ajam ... e assim sendo concluímos que quase tudo que se move sempre o faz enquanto der (...)”. Descartes nos falou somente de um movimento que não cessaria, senão mediante a uma causa externa que assim o fizesse. Veremos mais adiante que na Primeira Lei do Movimento de Newton, isso foi corrigido.

Entretanto, recordamos que, para Descartes, o movimento em geral funcionaria necessariamente em relação a uma vizinhança -- referencial -- em repouso. Esta vizinhança por sua vez precisaria, ela mesma, de um referencial que, na verdade, Descartes não conseguiu fixar. Sendo assim, à distância que o corpo em questão percorreria não poderia ser determinada, pois o espaço que ele ocupava no instante anterior àquele que ele ocupava agora não poderia ser, ele mesmo, determinado. Como foi dito pelo próprio Newton:

Segue-se indubitavelmente que o movimento cartesiano não é um movimento, ele não possui velocidade, não possui definição e não possui espaço ou distância percorrida por ele. É necessário, então, que a definição de lugar, e conseqüentemente de movimento local, seja referenciada por alguma coisa se movendo de forma menor, como a extensão sozinha ou um espaço que parece ser verdadeiramente diferente dos corpos. E isso o filósofo cartesiano, dotado da maior

boa vontade possível, permitiria, se somente notasse que o próprio Descartes teve uma idéia de extensão como distinta para cada corpo, a qual ele desejava distinguir da extensão corpórea chamando-a de genérica (o que seria o espaço ou lugar interno?) (...) E também a rotação dos vórtices, da qual ele deduz a força do éter em retrocesso de seus centros [força centrífuga] e, desse modo, toda a sua Filosofia mecânica está tacitamente referida à extensão genérica. (NEWTON, 1978, p.131).

Na citação acima, Newton questionou, entre outras coisas, a natureza e o espaço interno dos corpos, melhor dizendo, os tipos de extensão nos quais lugares e movimentos são referidos. Para Stein (2002, p.265), no intuito de aprofundar sua reflexão sobre esta questão, Newton levantou logo em seguida três possibilidades, todas fora da sua tradição filosófica convencional, visto que nas “Definições” ele já havia afirmado que “Um lugar é uma parte do espaço que uma coisa preenche adequadamente” e “Movimento é mudar de lugar”. As três possibilidades eram: 1) o espaço seria um tipo de substância ou 2) o espaço seria um tipo de acidente - atributo de uma substância ou 3) o espaço seria somente o nada - só o vazio.

A seguir veremos detalhadamente a reflexão de Newton:

1) Sobre o espaço ser um tipo de substância:

Para Newton:

i) “(...) O espaço subsiste, não absolutamente em si mesmo, mas como um efeito que emana de Deus e uma certa afecção de todo ser (...)” (NEWTON, 1978, p.132);

ii) O espaço não é algo que possua ação.

Contra a possibilidade do espaço ser um tipo de substância, Newton tinha um argumento simples: substância era tudo aquilo capaz de agir ou provocar ações. O espaço não se comportava desta forma, isto é, ele não agia diretamente sobre os corpos nele colocados e não fazia com que estes corpos agissem desta ou daquela maneira - mesmo tendo uma “existência” independente destes corpos. E, além disso, para Newton, apesar dos filósofos cartesianos tradicionalmente não definirem substância como “(...) um ser que pode agir sobre alguma coisa (...)” (NEWTON, 1978, p.132), todos eles de fato poderiam acreditar, até certo ponto, em

tal definição, pois para Descartes, os corpos eram “feitos” de uma “substância corpórea” e possuíam um movimento. Lembramos que para Descartes substância era a primeira categoria de “ser” existente no mundo. Existiriam dois tipos de substâncias: a “corpórea” ou “extensa” e a “pensante”. As “substâncias pensantes” se revelavam em atributos que a mente do observador colocava nas coisas, por exemplo: cheiro, cor, sabor, entre outros. Já a “substância extensa” ou “corpórea” se revelava através da largura, altura e profundidade, que pertenciam ao corpo - era o próprio corpo. Deste modo, Newton nos disse que:

(...) eles [os cartesianos] facilmente permitiriam que a extensão fosse uma substância, como um corpo, se ela somente pudesse se mover e compartilhar as ações de um corpo. Por outro lado, eles dificilmente permitiriam que um corpo fosse uma substância, se ele não pudesse se mover ou despertar na mente qualquer sensação ou percepção que fosse. (NEWTON, 1978, p.132).

Na opinião de Stein (2002, pp.266-267), sobre a questão da substancialidade tratada no *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos*, Newton teria postulado que: a) o critério definitivo de substancialidade seria a habilidade de agir e b) uma das características que pertenceriam à natureza essencial dos corpos, como característica de sua substância seria a sua capacidade de despertar percepções numa mente qualquer.

2) Sobre o espaço ser um tipo de acidente - atributo de uma substância:

Contra a possibilidade de o espaço ser um acidente, Newton argumentou que o espaço não precisaria de um objeto para existir, pois era absoluto e, portanto, pela própria definição, qual seria a substância da qual o espaço absoluto seria um acidente? Lembramos que Newton claramente concebia a existência do espaço vazio, que seria incompatível com a possibilidade do espaço ser uma substância ou um acidente. Newton defendia a coerência da idéia de existência de um espaço totalmente vazio, visto que, no espaço absoluto, deveriam existir lugares vazios e lugares ocupados. A existência destes lugares vazios era o que permitia o movimento dos corpos, visto que fazia com que o espaço fosse “maleável”. Segundo Newton, a falta de espaços vazios, como queria Descartes dificultaria o movimento, conforme detalhado em seu artigo *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos*.

Deste modo percebemos que a questão da extensão para Newton não era tão simples assim. A extensão newtoniana confundia-se com o próprio conceito de espaço e justificava seu controverso atributo de “absoluto”: a extensão newtoniana não requereria um sujeito do qual ela seria herdeira ou herança, isto é, ela não requereria uma “substância corpórea ou extensa” como uma propriedade do corpo. Para Newton o espaço era “absoluto”, isto é, os acontecimentos físicos que nele ocorriam não o influenciava em nada. O espaço “absoluto” existiria independente dos corpos que o ocupavam. Se retirados os corpos, o espaço permaneceria. No entanto, para Descartes este mesmo espaço era relativo, o que significaria que os acontecimentos físicos que nele ocorreriam o influenciava, causava-lhe mudanças. O espaço cartesiano não teria existência própria: só seria detectado através da presença das “substâncias extensas”. Por sua vez, a extensão newtoniana, ao contrário da cartesiana, poderia ser concebida como existente sem que fosse necessário pressupor alguma coisa -- um corpo extenso -- em particular. Sobre a existência da extensão, independente do corpo e, do vácuo, o filósofo afirmou que:

(...) a extensão existe como se ela estivesse sem sujeito (...) nós acreditamos que ela exista em qualquer lugar que nós imaginemos, existam corpos ou não, e não acreditamos que, se Deus estivesse aniquilando algum corpo, sua extensão [o lugar ocupado por este corpo] iria perecer com ele (...) (NEWTON, 1978, p.132).

Nesta citação, Newton esclarece pontos relevantes para nossa argumentação presente e futura. Para o filósofo: a) extensão e espaço seriam a mesma coisa; b) novamente, para que o espaço existisse, não seria necessária a presença de um corpo e c) o espaço vazio teria sua existência assegurada²⁹.

3) Sobre o espaço ser somente o nada - só o vazio:

²⁹ Samuel Clarke, que segundo Rupert Hall e Marie Boas Hall (2002, p.116) seria um “defensor, tradutor e expoente de Newton”, defendeu com veemência a existência do vácuo junto aos opositores de Newton: “Porém é muito evidente, a partir da gravidade, (...) que não apenas deve haver um vácuo na natureza, mas também que ele é de longe a parte maior. (...) Por que uma mesma quantidade de matéria não haveria de exercer a mesma resistência, fosse ela dividida em inúmeras partes ínfimas [indaga Clarke] ou numas poucas partes grandes? (...) Já que, por conseguinte, a essência da matéria não consiste na extensão, mas numa solidez impenetrável, devemos dizer que o mundo inteiro é composto de corpos sólidos que se movem num vácuo.” (CLARKE *apud* HALL & HALL, 2002, p.116).

Contra a possibilidade de o espaço ser somente o nada, apesar de conceber a idéia do espaço vazio, Newton afirmava que o espaço ou a extensão estava longe de ser um nada. Segundo o filósofo “(...) ela [a extensão] é algo mais que um acidente e está próxima da natureza da substância (...)” (NEWTON, 1978, p.132). Apesar de mencionar uma semelhança entre o espaço ou a extensão e a substância, vimos na primeira argumentação que, para Newton, o espaço não era uma substância. Esta “possível semelhança” entre o espaço e a substância se deu devido à contrariedade de Newton para com a idéia de Descartes que o espaço poderia ser um “acidente”, isto é, para os cartesianos o espaço não existiria em si mesmo, mas somente na presença de um corpo - uma “substância corpórea”. O espaço newtoniano seria algo mais que um “acidente”, visto que tinha sua existência garantida, com ou sem a presença de um corpo³⁰. Complementando sua argumentação, Newton disse que:

Não há idéia do nada, nem ele tem nenhuma propriedade, mas da extensão temos uma idéia muito clara, abstraindo as afecções e propriedades de um corpo, de maneira que lá permaneça somente a uniforme e ilimitada extensão do espaço em comprimento, largura e profundidade. (NEWTON, 1978, p.132).

Nesta citação Newton nos diz que se retirássemos um corpo do espaço sua extensão lá permaneceria. Isto explica as diversas vezes que este autor chamou o espaço de extensão e vice-versa. Mais adiante encontramos a verdadeira natureza da extensão ou espaço newtoniano na seguinte citação:

O espaço é uma afecção do ser *qua* ser. Nenhum ser existe que não esteja conexo com o espaço de alguma forma. Deus está em todo lugar, mentes criadas estão em algum lugar, e o corpo está no espaço que ele ocupa; e tudo que não está nem em toda parte nem em qualquer lugar não existe. E, conseqüentemente, segue-se que o espaço é um efeito surgido da primeira existência do ser, porque, quando qualquer ser é postulado, o espaço é postulado. (NEWTON, 1978, p.136).

Sobre a origem da expressão “ser *qua* ser”, Loux nos disse que:

³⁰ Novamente, afirmamos que Newton discordava radicalmente de Descartes sobre a questão da existência de espaços vazios na natureza e a divisibilidade infinita dos corpos. Enquanto Descartes não aceitava a indivisibilidade atômica e o espaço vazio -- apesar de ter sido influenciado por alguns aspectos da doutrina atomista -- Newton, afirmava que: a) havia a parte última da matéria, chamada de átomo pelos atomistas antigos e por ele corpúsculo - corpos rígidos e indivisíveis e b) havia espaços vazios e espaços ocupados, ou seja: o mundo não era *plenum* como queria Descartes. Assim, Newton comparou o movimento de um projétil na terra com o movimento planetário, ambos sob a luz da existência dos espaços vazios, mas não totalmente vazios.

Na tradição aristotélica, existe a idéia de uma ciência de causas primeiras e a idéia de uma ciência que estuda o ser *qua* ser. Mesmo que exista uma só ciência respondendo as duas idéias, as idéias, ao menos inicialmente, parecem ser diferentes. [Primeiro] A idéia de uma ciência geral que estude seres da perspectiva de seu ‘ser’ corresponder ao que os racionalistas chamaram de metafísica geral; e [segundo] uma tarefa central sugerida pela idéia de uma ciência de causas primeiras correspondentes à tarefa associada com um ramo de uma metafísica especial apelidada pelos racionalistas de teologia natural, e nós temos os dois outros ramos da metafísica especial - cosmologia que fornece uma caracterização do mutável, mundo matéria e a psicologia racional que lida, entre outras coisas, com o problema corpo-mente e presumidamente, o problema da livre escolha. (LOUX, 2003, p.11-12).

Mesmo que Loux não tenha se referido diretamente a metafísica de Newton, acreditamos que esta metafísica se adegue bem a segunda idéia do comentador, ou seja: a metafísica newtoniana seria uma ciência de causas primeiras ligada a uma teologia, conforme discutido na seção 4.1 deste capítulo.

Retornando a citação de Newton sobre a verdadeira natureza do espaço ou extensão e do vazio, agora sob a luz do comentário de Loux, “qualquer ser” existente teria que, necessariamente, estar em algum lugar. Quando o “ser” fosse postulado, o espaço seria postulado. Então, o espaço, de alguma forma, seria o resultado da existência de “qualquer ser”, mas também teria uma existência independente do “ser”. O espaço ou extensão poderia, então, ser vazio, mas não seria só vazio. Na teologia newtoniana, o primeiro ser existente seria Deus, a quem ele considerava como a “inteligência” criadora e mantenedora do universo e não sua “alma”. Assim por inferência, o espaço também resultaria desta existência Divina, não como uma de suas “criações”, mas como uma “emanação”. Segundo o próprio Newton:

(...) a extensão [ou espaço] tem sua própria maneira de existir, a qual não se enquadra nem na das substâncias nem na dos acidentes. Não é substância; por um lado, porque não é absoluta em si mesma, mas é antes como se fosse um efeito emanante de Deus, ou uma disposição de todo ser; por outro lado, porque não se encontram entre as disposições próprias que denotam a substância, isto é, as ações, tais como os pensamentos na inteligência e os movimentos no corpo.(...). Além do mais, visto que podemos conceber claramente a extensão existindo sem qualquer sujeito, como imaginamos espaços fora do universo ou lugares vazios, e acreditamos que a extensão exista em qualquer lugar que imaginemos não haver corpos, e não podemos acreditar que a extensão desapareceria como o corpo, caso Deus extinguisse este corpo, conclui-se que a extensão não existe como acidente que seja inerente a um sujeito. Assim, a extensão não é um acidente. (NEWTON, 1978, p.132).

Discutiremos agora, de forma mais detalhada, o significado do termo “efeito emanante”, conforme citação acima, para a doutrina newtoniana do espaço. Stein (2002, p.268-269), não defende que o termo “efeito emanante” derivaria da doutrina das “emanações” de Plotino, objeto de estudo do movimento neoplatônico de Cambridge, ao qual Newton seria bastante simpático. Para Stein (2002, p.268), esta seria uma “tese fraca”, pois Newton só teria tido uma mera curiosidade em relação aos textos da Antiguidade e do neoplatonismo clássico. O comentador defendeu a idéia de que o verbo “emanar”, causador do “efeito emanante”, significaria “inferir”, um uso um pouco estranho em termos contemporâneos, porém bastante comum naquela época. Nas palavras de Stein:

À medida que, para as doutrinas de Cambridge, é instrutivo que o *Dicionário de Inglês de Oxford*, sobre ‘emanação’, (...) cite o seguinte *poema* filosófico de Henry More: ‘A alma do homem não é uma criação ... Por conseguinte, deixe-a ser uma emanação’, por outro lado, sustenta a visão de que ‘emanação’, o que quer que ela seja, é *distinta* da criação. (...) as bases para pensar que a teoria da emanação de Newton é neoplatônica, ou ‘Platônica de Cambridge’, são muito fracas. (...), o *DEO* [Dicionário de Inglês de Oxford], no mesmo verbete [‘emanação’], (...), dá uma definição (apontada como obsoleta): ‘Desenvolvimento lógico de premissas; inferência’ - com uma citação (...) da *Lógica* de T. Spencer (1628); e dá (...) a definição relacionada (*não* designada como obsoleta): ‘Uma conseqüência necessária ou resultado’ com duas citações (...), a primeira de Richard Steele no [periódico] *O Conversador* (1710), a outra (...), do *Utilitarismo* de John Stuart Mill (1861): ‘Uma emanação direta dos primeiros princípios das morais’. (STEIN, 2002, p.269).

Assim, devido à: a) definição dada por Spencer ao verbete “emanação”; b) data da conceituação do verbete - 1628 e c) o uso dado ao verbete por Newton - entre 1664 e 1668, Stein (2002, pp.268-269), teria concluído que Newton utilizou o termo “emanação” como sinônimo de “inferência”. Todavia, em dois textos distintos de Stein, *A Metafísica de Newton* e o *Espaço-Tempo Newtoniano*, foi mencionada a relevância que a metafísica, a teologia, a alquimia e outros saberes, tiveram na elaboração da Filosofia Natural newtoniana. Portanto, não nos parece de todo equivocado pensar que Newton, em alguns momentos, pudesse ter se aproximado das teorias neoplatônicas, pois o próprio Stein, em passagem anterior a supracitada, disse que:

Na tradição filosófica da escola neoplatônica, existe uma doutrina muito elaborada das ‘emanações’ de Deus [cristão]; e Newton era um conhecido íntimo dos membros do grupo denominado como os Platonistas de Cambridge (...) - muito próximos de Henry More.” (STEIN, 2002, p.268).

Portanto, de acordo com a tese de Stein (2002, p.269), para Newton, o espaço seria uma inferência do poder Divino: o Deus newtoniano, inteligente e matemático, teria “inferido” o espaço.

Por outro lado, McGuire e Rattansi no artigo *Newton e as 'Flautas de Pã'*, defendem uma intensa ligação de Newton com os neoplatônicos de Cambridge. Segundo estes autores, o diálogo de Newton com este grupo somado as suas reflexões metafísicas e teológicas ligadas à Filosofia Natural, não teriam sido uma mera curiosidade e a maior prova disto estaria no caráter metafísico do texto *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos*.

Para McGuire e Rattansi (2002, p.131), quaisquer conflitos de interesse que historiadores e filósofos pensassem haver entre: a) a metafísica; b) a teologia; c) os textos da Antiguidade; d) os textos do neoplatonismo clássico e e) os escritos físico-matemáticos dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, seriam contradições aparentes e infundadas, pois, para Newton, não haveria contradição alguma tomar como causa primeira de alguns fenômenos observáveis fundamentos não físico-matemáticos. Segundo esses autores, Newton apesar de ter demonstrado um profundo interesse e dedicação à metafísica e à teologia, teria modificado a “Filosofia Mecânica” como conhecida e estabelecida pelos cartesianos. Newton teria ampliado esta “Filosofia Mecânica” de tal forma que esta permitisse a entrada de forças não explicáveis por ela em sua conceituação original, como veremos mais adiante. Mesmo que na maior parte dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton tivesse restringido sua abordagem filosófica ao mundo natural, isto não significou, de modo algum, que ele teria desprezado a metafísica, a teologia e a inspiração dos textos da Antiguidade e no neoplatonismo clássico. Nas palavras dos comentadores:

(...) ele [Newton] não usa esse dado histórico [encontrado nos textos da Antiguidade e no neoplatonismo clássico] de maneira aleatória, ou meramente à guisa de ornamentação literária. Ao contrário, usa o dado de maneira séria e sistemática, como corroboração e justificativa dos componentes da teoria newtoniana da matéria, do espaço e da gravitação. (MCGUIRE & RATTANSI, 2002, p.131).

Face às visões opostas de Stein (2002, p.268-269) e McGuire e Rattansi (2002, p.140-141), procuraremos aprofundar o argumento de McGuire e Rattansi sobre o uso particular feito por Newton de um termo do neoplatonismo clássico:

baseados nos argumentos destes comentadores acreditamos que a expressão “efeito emanante”, da maneira que fora utilizada por Newton, teria sua real origem na doutrina neoplatônica das “emanações”. Com efeito, a doutrina de Plotino, em linhas gerais, dizia respeito à origem do universo, como o *Timeu* de Platão e fazia diferença entre os atos de “criar” e “emanar”. Tanto nos ensinamentos de Plotino quanto nos textos teológicos e metafísicos de Newton, Deus seria absolutamente transcendente, superior a toda e qualquer outro ente. Para Newton:

Ele [Deus] não é a eternidade e a infinitude, mas é eterno e infinito; não é a duração e o espaço, mas perdura e está presente. Ele perdura sempre e está em toda parte; e por existir sempre e em toda parte, constitui a duração e o espaço. Pois cada e toda partícula de espaço está *sempre*, e cada e todo momento indivisível de duração está *em todos os lugares*, certamente o criador e senhor de todas as coisas não irá estar no *nunca* ou em *lugar nenhum*. (NEWTON, 1999, p.941).

Plotino, em sua época, chegou a afirmar que Deus estaria “para lá do ser” e O chamou de Uno, por acreditar que Ele seria a causa simples e única de todas as coisas. Porém, o Deus plotiniano permaneceu imóvel: “Ele não é movido, mas tampouco está em repouso; não está num lugar nem no tempo.” (PLOTINO, 2000, P.126), aparentemente diferente do Deus de Newton: “imutável”, contudo, onipresente e dependente do espaço, como será visto mais adiante. Em suma, o Uno propagar-se-ia sem sair de si mesmo, num processo comumente denominado “emanação”.

De acordo com a doutrina neoplatônica, a primeira emanação seria o espírito *nous* onde toda multiplicidade estaria contida indivisivelmente. Do espírito procederia a segunda emanação, a Alma do mundo, sendo esta a ligação entre o mundo inteligível e o mundo dos sentidos. Já a matéria seria concebida por Plotino negativamente, como privação da realidade e do bem, pura obscuridade, o não-ser e o mal que começam onde termina a luz. A matéria estaria no extremo inferior da escala onde está o Uno. Na doutrina de Plotino, a tarefa maior da Filosofia seria direcionar a atenção do inferior ao superior, mediante o conhecimento de Deus.

Para Plotino, o primogênito de Deus seria o *logos*, a Inteligência e não o espaço como seria para Newton. Esta Inteligência era o princípio de toda justiça, de toda virtude e de toda beleza. A Inteligência faria a realidade ter uma forma, na

medida em que ela fosse coerente e harmoniosa e na medida em que ela fosse bela. Lembramos que não seria nosso objetivo comparar a doutrina das “emanações” de Plotino com a metafísica de Newton, mas somente o uso do termo “efeito emanativo” relacionado com o conceito de “emanação”. Conseqüentemente, acreditamos que o conceito de “emanação” plotiniano tenha sido adotado pela metafísica newtoniana unicamente para a descrição da natureza do espaço absoluto. Segundo Plotino, nos *Tratados das Enéadas*:

Em todas as coisas há um ato que se dá no interior da essência. O primeiro ato é a coisa em si mesma, em sua identidade; o segundo ato é uma inevitável exteriorização do primeiro, uma emanação distinta da própria coisa. Assim, no fogo há o calor que pertence a sua natureza essencial e o calor que sai imediatamente dela. O fogo, permanecendo imutavelmente fogo, exerce o ato que é natural à sua essência. O mesmo se dá no Mundo mais alto, e de maneira muito mais clara, pois nele se dá a primeira expressão do duplo ato: O princípio (*arché*) permanece em seu ser imutável, mas de sua perfeição e do ato inerente a sua natureza emana o ato segundo que, com grande poder -- na verdade, com o maior de todos os poderes --, chega ao Ser em ato e à essência. Pois esse Princípio (*arché*) está além do Ser. Ele tem, em potência, todas as coisas, e o que dele provém [o Ser em ato] é a atualização de todas as coisas. (PLOTINO, 2000, p.58-59).

Assim sendo, de acordo com a doutrina neoplatônica de Plotino, diferentemente do ato de criar uma “coisa”, o ato de emanar uma “coisa” seria um processo contínuo “do provir”³¹. Deus emanaria uma “coisa” eternamente e infinitamente. Todavia, Deus criaria uma “coisa” num processo bem definido. *Grosso modo*, o ato de “criação” teria um início, um meio e um fim, seria um processo contínuo do devir.

Portanto, a partir dessas distinções básicas entre os atos de criar e emanar que observamos as primeiras semelhanças entre a doutrina neoplatônica das “emanações” de Plotino e a metafísica da natureza do espaço newtoniano, visto que, sobre o ato de emanar, Newton argumentou:

(...) o espaço é um efeito surgido da primeira existência do ser, porque, quando qualquer ser é postulado, o espaço é postulado (...)” (NEWTON, 1978, p.136)

e:

³¹ Na língua portuguesa não existe o substantivo do verbo “provir”, conforme utilizamos nesta dissertação - “o provir”. O verbo “provir”, significa, entre outras coisas “emanar”, porém, por uma tecnicidade da língua, não há um sinônimo com o radical do verbo “provir” para o substantivo “emanação”. Assim, achamos necessária a indicação do termo “o provir”, mesmo que ele não exista, para termos uma boa oposição ao substantivo “devir” - no sentido escolástico de passagem.

(...) o espaço é eterno em sua duração e imutável em sua natureza, e isto se dá devido ao efeito emanante que deriva de um ser eterno e imutável. Se em algum momento o espaço não tivesse existido, Deus naquele instante não teria estado em nenhum lugar; e nesta hipótese ou Deus teria criado o espaço mais tarde (espaço no qual ele não estaria), ou então, não menos contrário a razão, ele teria criado a sua própria ubiqüidade. (NEWTON, 1978, p.137).

Newton, nestas importantes citações, levantou a hipótese de uma não existência do espaço em concomitância com Deus e afirmou que, caso isto pudesse ser verdadeiro, Deus teria então que criar o espaço, fora do espaço-tempo de Sua própria existência, em vez de tê-lo emanado. Newton afirmou também que esta possibilidade seria logicamente incorreta, “contrária à razão”, reforçando então, nossa hipótese da “emanação” -- aos moldes de Plotino -- do espaço.

Retornando ao ato de criar, Newton esclarece que os corpos e não o espaço tiveram esta origem não emanante: “(...) descrevo preferivelmente um certo tipo de ser, de todo modo similar aos corpos, e cuja criação não podemos negar que se encontra no poder de Deus”. (NEWTON, 1978, p.138). Contudo, Plotino foi mais além e afirmou que:

Se o Primeiro é perfeito, o mais perfeito entre tudo, e é o princípio de todo o poder, tem de ser mais poderoso do que todas as coisas, e todos os outros poderes devem imitá-lo na medida de sua capacidade. Assim, quando algo chega à perfeição, vemos que começa a gerar, pois não é capaz de permanecer fechado em si mesmo e engendra algo mais. Isso é verdade não apenas para seres que têm escolha, mas também para seres que crescem e produzem sem escolherem fazê-lo, e mesmo para coisas sem vida, que compartilham a sua natureza o máximo que podem. O fogo aquece, a neve esfria e os remédios agem de maneira correspondente à sua natureza. Todas as coisas imitam o Primeiro princípio e buscam a eternidade e o serviço com o máximo de sua força. (PLOTINO, 2000, p.56-57).

Argumentamos que, quando Plotino nos diz “Assim, quando algo chega à perfeição, vemos que começa a gerar”, isto poderia ter levado Newton, como estudioso deste texto, a concluir que este “algo que chega a perfeição” seria Deus e o que Ele “começa a gerar” seriam os corpos, pois o espaço já teria sido emanado. Em uma passagem particular do texto *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos*, Newton falou da criação dos seres humanos:

(...) a analogia entre as faculdades de Deus e as nossas próprias é maior do que tem sido percebida até agora pelos Filósofos. Que fomos criados a imagem de Deus a sagrada escritura atesta. E a sua imagem seria mais clara em nós se somente ele simulasse nas faculdades a nós outorgadas o poder de criação no mesmo grau que seus outros atributos; nem constitui uma objeção que nós mesmos sejamos seres

criados e, portanto não poderíamos como tais participar deste atributo divino. (NEWTON, 1978, p.140).

E mais adiante o filósofo completou:

(...) não podemos postular corpos (...) sem ao mesmo tempo supor que Deus existe, e criou do nada os corpos no espaço vazio, e que eles constituem seres distintos das inteligências criadas, porém capazes de combinar com as inteligências. (NEWTON, 1978, p.141).

Desse modo, reforçamos que para Newton, o Primeiro seria Deus que na Sua perfeição emanou o espaço para comportar os corpos e mentes que seriam gerados ou criados por Ele. Estes corpos e mentes poderiam ser iguais ou completamente diferentes do Primeiro, isto é, de Deus, mas ocupariam, quando gerados ou criados, um lugar no espaço já emanado. E continuando esta argumentação, Plotino nos disse que:

O Uno é todas as coisas e não é nenhuma delas. Ele é o princípio (*arché*) de todas as coisas; e, se não é nenhuma delas, no entanto é todas as coisas de um modo transcendente, pois, de certo modo, elas estão no Uno. (...) É pelo fato de nada haver nele que todas as coisas provêm dele. Para que o Ser possa existir, o Uno não é Ser, mas sim o gerador do Ser. Podemos dizer que este é o primeiro ato de geração: nada possuindo e nada buscando em sua perfeição, o Uno transbordou e sua superabundância produziu algo diverso dele mesmo. O que foi produzido voltou-se de novo para sua origem e, contemplando-a e sendo por ela preenchido, tornou-se a Inteligência. O ato de ter-se detido e se voltado para o Uno deu origem ao Ser; o ato de ter contemplado o Uno deu origem a Inteligência. O ato de ter-se detido e se voltado para o Uno a fim de contemplá-lo tornou-o simultaneamente Ser e Inteligência. Desse modo, tornando-se semelhante ao Uno por contemplá-lo, repetiu o ato do Uno e emitiu um grande poder. (PLOTINO, 2000, p.63-64).

Analisando o conteúdo dessa citação, nos parece que Newton, novamente, extraiu do *Tratado das Enéadas* uma outra inspiração: desta vez com relação à inteligência Divina, pois ele afirma que: “Este extremamente elegante sistema do sol, planetas, e cometas não poderia ter sido provido sem a ardilosa e soberana existência de um ser inteligente e poderoso.” (NEWTON, 1999, p.940). Tanto o Deus de Newton quanto o Uno de Plotino teriam no Divino uma inteligência -- ou um gerador da mesma -- e um poder inquestionável. E somente a título de ilustração, para Plotino, da Inteligência proceder a Alma.

A Alma seria a mediadora entre a Inteligência, da qual ela procede e o mundo sensível, cuja ordem era constituída por ela. As almas individuais emanam

dessa alma universal. A alma humana também seria uma parcela do próprio Deus presente em nós. Nas palavras de Plotino:

(...) assim como um pensamento expresso na palavra é uma imagem do pensamento da mente, assim também a Alma é uma imagem expressa do pensamento da Inteligência - ela é toda a sua atividade e a vida que ela [Inteligência] emana para estabelecer outra realidade. (PLOTINO, 2000, p.73).

O mesmo argumento usado anteriormente se aplicaria ao trecho “o Uno transbordou e sua superabundância produziu algo diverso dele mesmo”. O Uno, para Newton, seria Deus e de seu “transbordamento” surgiriam às coisas, no espaço já emanado. Assim, nesta citação ficaria esclarecido também como as coisas foram geradas ou criadas pelo Uno. Na concepção de Plotino: o Uno não seria o ser, mas sim, o criador deste ser - e de todas as coisas, como o Deus newtoniano.

Finalizando, através das palavras de Newton, percebemos nitidamente que ele diferenciou o espaço como um “efeito que emana de Deus” dos corpos e mentes como criações ou gerações de Deus. Outrossim, a diferença entre “emanar o espaço” e “criar corpos e mentes” residiria no fato de que a “emanação” desse espaço estaria vinculada diretamente ao “surgimento” de Deus, isto é, ambos aconteceriam simultaneamente. Para a criação de corpos e mentes, entretanto, Deus já deveria existir em sua plenitude, junto com o espaço emanado. Abordaremos a questão da necessidade do espaço para a existência de Deus, de forma mais detalhada, na próxima seção.

Uma das conseqüências surgida das idéias de Newton -- tendo como base a metafísica, a teologia, os textos da Antiguidade e o neoplatonismo clássico -- seria que todas as coisas existentes teriam uma natureza empírica, ao contrário de Descartes que encontrou os fundamentos de seus conhecimentos sobre essas coisas na subjetividade matemática. Para Newton, nossas experiências pessoais, isto é, a “visão de uma evidência” pura e simples, não forneceriam uma base relativamente sólida para a concepção do que seria de fato real -- ser existente ou não -- sem que fosse estabelecida uma relação apropriada com o espaço. Esta relação apropriada com o espaço poderia ser, por exemplo, por contraste.

Imaginemos um fundo de uma cor e uma pessoa vestida da cabeça aos pés com roupas dessa mesma cor. Se a pessoa se encontrasse com o fundo, não poderíamos distinguir a pessoa do fundo, mesmo que o corpo possuísse uma

extensão; ao passo que, se ela usasse uma única peça de roupa de uma cor diferente do fundo, faria-se visível. Este exemplo não invalida a concepção newtoniana de espaço absoluto, pois seria o objeto ou o sujeito que teria que se revelar perante um espaço pré-existente e não o contrário.

4.3.2

A Divisibilidade do Espaço

Além do mais, para que ninguém pense (...) que Deus é extenso e feito de partes divisíveis como um corpo, deve ser sabido que espaços não são realmente divisíveis e, outrossim, que cada ser tem seu próprio modo de se fazer presente no espaço. Desse modo, a relação do espaço de duração [intervalo entre duas medições do tempo] é muito diferente da [relação] do corpo [intervalo entre dois pontos situados no mesmo corpo]. Para que nós não designemos diferentes durações para diferentes partes do espaço, dizemos que ambas se suportam. O momento de duração é o mesmo em Roma e em Londres, na Terra e nas estrelas, e em todos os céus. Da mesma maneira que nós entendemos qualquer momento de duração a ser difundido por todos os espaços, de seu próprio modo, sem qualquer concepção de suas partes, portanto, isso não é mais contraditório do que a mente poder igualmente, de seu próprio modo, ser difundida através do espaço sem qualquer concepção de suas partes. (NEWTON, 1978, p.137).

A citação acima levanta uma questão que consideramos ser de suma importância para a compreensão da metafísica do espaço newtoniano: Para Newton, qual seria a relação Deus/espaço divisível, visto que Deus não poderia ser delimitado por um lugar já que Ele não poderia ser extenso. Por outro lado, também demonstrando um grande interesse na metafísica do espaço de Newton, Stein (2002, p.270) questionou: O que Newton realmente queria dizer com “espaços não são realmente divisíveis”?

Em primeiro lugar, tanto para Stein (1970, p.260) quanto para nós, não nos parece possível que Newton, após estabelecer uma estreita ligação entre o espaço e a geometria euclidiana, acreditasse que, por exemplo, um plano não pudesse ser dividido em linhas retas ou que estas não pudessem ser divididas em pontos. Para efeito ilustrativo, utilizamos os três conceitos primitivos da geometria plana: o ponto, a reta e o plano. Estes entes geométricos, na verdade, não possuiriam existência física e poderíamos até dizer que eles seriam meramente frutos da nossa imaginação. Destarte, a marca da ponta de um lápis numa folha de papel nos daria, por exemplo, a idéia de um ponto, embora não fosse um ponto, pois se

quiséssemos, poderíamos até calcular a sua área. Assim sendo, a resposta dada por Stein (2002, p.271) à sua própria pergunta foi: o espaço possuiria partes predefinidas, porém, não seria divisível e isto estaria implícito na própria definição de lugar dada por Newton: “Lugar é uma parte do espaço que um corpo ocupa, e de acordo com o espaço, é absoluto ou relativo.” (NEWTON, 1999, p.409). Em outras palavras, o lugar newtoniano seria “uma parte do espaço que uma coisa preenche adequadamente” (NEWTON, 1978, p.122).

E sobre a divisibilidade do espaço em partes, corroborando a resposta de Stein (2002, p.275), Newton esclarece que:

(...) espaço pode ser distinto em todo lugar em partes, cujas fronteiras comuns nós costumamos chamar de superfícies; e essas superfícies podem ser distintas em todo lugar em partes, cujas fronteiras costumamos chamar de linhas; e essas linhas, por sua vez, podem ser distintas em todo lugar em partes que chamamos de pontos. (NEWTON, 1978, p.143).

Nesta citação, Newton elucida que, uma superfície -- ou plano -- poderia ser dividida em linhas retas, uma linha reta poderia ser dividida em pontos e assim um corpo ocuparia um espaço, mas não poderia ser confundido com o espaço. Segundo Newton, o fato do espaço possuir partes não queria dizer que ele fosse divisível. Por exemplo, um quebra-cabeça é jogo composto de partes predefinidas que devem ser unidas para formar um todo, porém, no sentido inverso, não é possível dividir o todo de maneira aleatória, somente nas partes predefinidas pelo jogo. No entanto, essa resposta ainda não esclareceria nossa questão sobre a relação Deus/espaço divisível.

Em segundo lugar, retornando a nossa pergunta -- o caso particular da relação Deus/espaço divisível -- Newton nos disse que Deus, por não ser um extenso, poderia estar presente em todo lugar do espaço. Conseqüentemente, Deus não só seria indivisível, como também não possuiria partes - como o exemplo do “quebra-cabeça”. Vimos anteriormente que, para Newton, Deus teria emanado o espaço no sentido plotiniano de emanar, portanto, de certa forma, acreditamos que a resposta que o filósofo daria a nossa pergunta seria: Deus e o espaço se confundiriam no sentido “posicional”, pois o espaço em questão seria emanado por Ele num processo contínuo do provir.

Não queremos dizer com isso que Newton acreditasse que Deus e o espaço fossem a mesma coisa. Para o filósofo, tanto Deus quanto o espaço aconteceriam -

- se realizariam -- simultaneamente. Um memorando do matemático, filósofo e discípulo de Newton, David Gregory, datado de 1705, nos ajudou a esclarecer esse ponto polêmico:

A verdade pura e simples é que ele [Newton] acredita que Deus seja onipresente, no sentido literal; e que, assim como somos sensíveis aos objetos quando suas imagens são levadas ao interior do cérebro, também Deus deve ser sensível a todas as coisas, estando intimamente presente em todas elas: pois ele supõe que, como Deus está presente no espaço em que não há um corpo, também está presente no espaço em que há um corpo. (GREGORY *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.400).

O memorando de Gregory reforça nossa posição a respeito da relação Deus/espaço divisível: quando este espaço fosse dividido -- “matematicamente” -- em partes predefinidas, pela presença de um corpo ocupando um lugar, Deus onipresente, estaria “contido” tanto no espaço interno delimitado pelo corpo situado naquele espaço quanto no espaço externo ao corpo. Através das palavras de Gregory (2002, p.400) fica clara a relação “posicional” Deus/ espaço divisível. Assim, concluindo, a hipótese de Stein (2002, p.275) sobre a divisão do espaço newtoniano em partes predefinidas, não invalida a nossa hipótese que, para Newton, Deus na Sua onipresença, estaria em todo espaço, delimitado ou não por um corpo. Curiosamente, um dos dogmas mais populares de quase todas as religiões, “Deus está dentro de nós”, poderia ser facilmente justificado pela visão newtoniana da relação Deus/espaço divisível, visto que: a) somos corpos feitos de matéria; b) ocupamos um lugar no espaço e c) possuímos um espaço interno.

4.3.3

Deus e o Espaço

Após concluirmos que, para Newton, Deus e todas as coisas não poderiam existir sem a presença de um espaço, Stein (2002, p.275) chamou-nos atenção para a questão oposta colocada por Newton no *O Peso e o Equilíbrio dos Fluidos*: Seria possível, conceber um espaço sem a presença de Deus? Como vimos anteriormente, o contrário para Newton, isto é, conceber Deus sem a presença do espaço seria impossível. Assim, segue-se a passagem onde Newton colocou claramente essa questão:

(...) Se nós concordamos com Descartes que extensão é um corpo, não estaríamos manifestamente abrindo um caminho para o ateísmo, visto que, nesta hipótese, a extensão não é criada, mas tem existido eternamente, seja porque nós temos uma idéia absoluta dela [da extensão] sem nenhum relacionamento com Deus e, assim sendo, em certas circunstâncias seria possível para nós conceber a extensão, imaginando a não existência de Deus? (NEWTON, 1978, p.142-143).

Segundo Newton, a idéia de extensão de Descartes tenderia a um ateísmo, visto que a extensão era o próprio corpo e o espaço só existiria na presença deste corpo ou da extensão. Como Deus não era feito de “substância corpórea”, Ele não seria extenso e, por conseguinte, Ele não poderia estar em nenhum espaço. Seguindo esta linha de raciocínio, Newton concluiu que para Descartes Deus não existiria. Esta hipótese contrariava toda metafísica existente por trás da Filosofia Natural newtoniana. Para Newton, o papel de Deus na construção e manutenção do funcionamento do universo era de suma importância.

Como já vimos anteriormente, Newton acreditava que a extensão, diferentemente do que pensava Descartes, não requereria um sujeito do qual ela seria herdeira ou herança. A extensão não seria uma propriedade do corpo: ela pertenceria -- ou seria -- o próprio espaço. Isto não quer dizer que Newton negasse a existência das dimensões dos corpos, porém devido à sua definição de lugar e da relação entre este lugar e o espaço, a extensão passou a ter maior importância que os corpos em sua Filosofia Natural. Lembramos que, ao final da seção 4.3.1 concluímos que a extensão ou o espaço existiria na medida em que Deus existiria, pois Ele emanaria o espaço a todo instante num processo contínuo “do provir”. Sendo assim, respondendo a questão do início desta seção, Newton não poderia nem conceber Deus sem a presença do espaço nem conceber o espaço sem a presença de Deus. Qualquer uma destas hipóteses iria contra todas as crenças de Newton e daqueles que o seguiam.

4.3.4

A Natureza dos Corpos

Agora que a extensão foi descrita, falta dar uma explicação sobre a natureza dos corpos. Por isso, desde que não exista necessariamente, mas através da vontade divina, a explicação será mais vaga, porque dificilmente nos é dado conhecer os limites do poder divino (a saber, se a matéria poderia ter sido criada somente de uma forma, ou se existem várias maneiras pelas quais outras coisas similares aos

corpos podem ter sido produzidas). E embora dificilmente pareça crível que Deus poderia criar seres similares a corpos, que devessem executar suas ações e exibir todos os seus fenômenos, e ainda na sua constituição essencial e metafísica não serem corpos; como eu não tenho uma percepção clara e distinta dessa matéria, eu não deveria ousar afirmar o contrário, e, portanto, estou relutante em dizer positivamente o que a natureza dos corpos é. Contudo, descrevo preferivelmente um certo tipo de ser, de todo modo similar aos corpos, e cuja criação não podemos negar que se encontra no poder de Deus, portanto, dificilmente poderemos declarar que não se trata de um corpo. (NEWTON, 1978, p.138).

Ao analisar as palavras de Newton, observamos como Stein (1970, p.269) que o filósofo fazia uma distinção clara entre o status epistemológico da sua teoria do espaço e o da sua teoria dos corpos: a primeira seria conceitual e a segunda conjectural. Nossa interpretação seria que o espaço, mesmo que emanado por Deus, do modo que ele se apresentaria a nós, requereria uma formulação detalhada, principalmente no que se refere a sua relação com os corpos, contudo os corpos, como dito anteriormente por Newton, seriam, presumidamente, criações de Deus. Não sabemos com certeza como a tese de Stein (2002, p.269) sobre a “inferência” do espaço, contrária a nossa tese da “emanação”, se adequaria a esta divisão conceitual/conjectural.

Newton acreditava que não nos seria dado conhecer os caminhos pelos quais o exercício da “vontade” Divina pudesse se realizar, isto é, os efeitos observáveis, as conseqüências diretas da vontade Divina, nem sempre nos indicariam suas causas. Em suma: não nos caberia perguntar “por que?” a Deus. Esta posição ficou bastante clara na correspondência Clarke-Leibniz, que será brevemente abordada mais adiante. Contudo, antes desta correspondência, Newton afirmou na passagem supracitada que a explicação sobre a natureza dos corpos teria que ser “mais vaga”: não nos caberia questionar, pelo menos não a este nível, as vontades e o poder Divino. De uma certa forma, ao introduzir esta nova maneira de pensar e relacionar Deus às causas primeiras, talvez Newton estivesse apontando o novo caminho que a Filosofia Natural tomou a partir da segunda metade do século XIX: para a Física não seria mais fundamental perguntar “por que?” as coisas aconteceriam, mas sim, “como?” elas aconteceriam. Deus existiria e seria a causa primeira “inquestionável” dos fenômenos observáveis. Assim sendo restou-nos somente procurar entender e descrever, detalhada e coerentemente as conseqüências.

Frente a este novo modo de pensar a natureza, cabe-nos agora abordar a questão de como se daria a individualidade e a impenetrabilidade dos corpos, visto que estes corpos existiriam na natureza individualmente. Sobre a individualidade e a impenetrabilidade dos corpos, Stein (2002, p.278-279) questionou: Quais seriam as características de um corpo para que ele fosse identificado como “um corpo”, isto é, como este corpo coexistiria com o espaço e como os corpos, em geral, se distinguiriam uns dos outros? Respondendo a estas questões, Newton novamente recorreu, inicialmente, ao poder e a vontade Divina:

Já que todo homem é consciente do poder de mover seu corpo à sua vontade e mais do que isso, acredita que todos os homens têm o mesmo poder de mover igualmente seus corpos unicamente pelo pensamento, o livre poder de poder mover os corpos à vontade não poderia jamais ser negado a Deus, cujo poder de pensamento é infinitamente maior e mais rápido. Assim sendo, deve-se admitir que Deus, só pelo pensamento e pela vontade, pode evitar que um corpo penetre em qualquer espaço definido por certos limites. (NEWTON, 1978, p.139).

Pela teoria newtoniana, um corpo, não pode penetrar na região do espaço de um outro corpo, a menos que este fosse composto de matéria líquida ou gasosa, pois se assim o fosse, ambos seriam compelidos a saltar de volta às suas fronteiras espaciais originais cada vez que tentassem penetrar nessa nova região do espaço. Para Newton, tal região impenetrável do espaço poderia ser comparada a um corpo rígido, exceto pelo fato de que não teria movimento. Lembramos que o espaço, para Newton, teria uma existência própria e estaria mais perto de ser definido como uma “substância” do que como um “acidente”, mas diferente de sua própria definição de “substância”, não seria capaz de se movimentar. Na “Regra 3” dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton tratou a questão da impenetrabilidade como uma das características fundamentais dos corpos e afirmou que:

A extensão dos corpos é conhecida por nós somente através de nossos sentidos, e ainda assim existem corpos que estão além do alcance destes sentidos; porém porque a extensão é encontrada em todos os corpos sensíveis, ela é atribuída a todos os corpos universalmente. Nós sabemos pela experiência que alguns corpos são duros. Entretanto, devido à dureza do todo ser [causada pela] dureza de suas partes, nós corretamente inferimos disto não somente a dureza das partículas indivisíveis do corpo que nós acessamos pelos sentidos, mas também de todos os corpos. Que todos os corpos são impenetráveis nós sabemos não pela razão, mas pelos nossos sentidos. Nós vemos que os corpos que nós manipulamos são impenetráveis, e conseqüentemente nós concluímos que a impenetrabilidade é uma propriedade de todos os corpos universalmente. Que todos os corpos são móveis e se mantêm em movimento ou em repouso devido à certas forças (as quais

chamamos de força inercial) nós inferimos de ter encontrado tais propriedades em corpos que vimos anteriormente. A extensão, a dureza, a impenetrabilidade e a força inercial do todo têm origem na extensão, na dureza, na impenetrabilidade e na força inercial das partes; e conseqüentemente nós concluímos que cada uma dessas minúsculas partes de todos os corpos é extensa, dura, impenetrável e sujeita a força inercial. E esta é a fundação de toda a Filosofia Natural. (NEWTON, 1999, p.795-796).

Voltando a citação anterior a esta, Stein (2002, p.278) observou que, para Newton, visto que Deus conferira mobilidade aos corpos recém-criados, esta mobilidade deveria ser regularizada por um conjunto de leis adequadas. Assim, surge a necessidade de especificar que tal mobilidade preservaria o tamanho e a forma das regiões de impenetrabilidade. Isso daria às novas partículas mecânicas a peculiar propriedade de corpúsculos rígidos, cujas características foram descritas na citação acima. O movimento destas novas partículas seria governado pela Primeira Lei do Movimento, cujo enunciado seria: “Todo corpo continua em seu estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.” (NEWTON, 1999, p.416); isto é, seria “sujeita a força inercial”, a saber: na ausência de encontros com outras partículas, uma partícula seria propagada através do espaço com velocidade uniforme em linha reta. No caso de uma partícula em repouso, não haveria mobilidade de forma alguma, a partícula permaneceria sem movimento. No encontro de duas partículas em movimento, ambas seriam governadas pelas Leis do Movimento que Newton detalhou no Livro I dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* (1999, pp.424-430). A. Rupert Hall e Marie Boas Hall, no artigo *Newton e a Teoria da Matéria*, comentaram a real serventia para Newton do conceito de corpúsculos rígidos: através dele seria possível interpretar e explicar as leis da natureza. Assim, os historiadores nos disseram que:

Newton praticamente presumiu a existência das partículas [ou corpúsculos rígidos]; o que merecia ênfase, para ele, era a maneira como essas partículas possuíam ou sofriam forças de atração e repulsão. Que a força de atração existia entre os corpos, e, por extensão, entre as partículas, era cristalinamente claro a partir da força com a qual Newton podia e soube lidar matematicamente - a gravidade. (HALL & HALL, 2002, p.101).

Deste modo, Newton reescreveu as bases da “Filosofia Corpuscular” idealizada por Robert Boyle³²: partículas últimas, indivisíveis, extensas, duras, impenetráveis, sujeitas à força inercial e que agem por contato. Isto seria suficiente para a formulação das leis que regem os fenômenos naturais. Através da experiência, do pensamento matemático -- geometria -- e da concepção dos atributos dos corpos que a mecânica -- “Filosofia Corpuscular” -- teria afirmado serem fundamentais, a Física Newtoniana finalmente esclareceu questões deixadas em aberto por seus antecessores e contemporâneos cartesianos -- e levantou outras.

De acordo com Cohen (2002, p.57), a Física Newtoniana se basearia em dois conceitos fundamentais, a saber: a) massa e b) forças³³. A massa, definida a princípio como quantidade de matéria, surgiu da necessidade de se ter uma grandeza referente aos corpos cuja medida fosse totalmente independente da extensão cartesiana ou do “peso” galileano, visto que, a extensão cartesiana alterava o espaço a sua volta e o “peso” galileano variava de acordo com a latitude da Terra.

Sobre o conceito de massa, Newton, nos “Corolários 1 e 2” da “Proposição 6”, “Teorema 6” e da “Regra 3”, ambas do Livro III dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, tratou a questão de sua independência da extensão do seguinte modo:

Corolário 1. Portanto, os pesos dos corpos não dependem de suas formas ou texturas. Para que os pesos pudessem ser alterados com suas formas, eles iriam ser, da mesma forma, maiores ou menores segundo a variedade de formas, inteiramente contrário a experiência.

Corolário 2. Universalmente, todos os corpos que estão na [terra] ou perto da terra são pesados [gravitam] para a terra, e os pesos de todos os corpos que estão igualmente distantes do centro da terra estão, pois com as quantidades de matéria deles [inalteradas]. Esta é uma qualidade de todos os corpos nos quais experimentos podem ser executados e, portanto a regra 3 pode ser afirmada de

³² Segundo a *Enciclopédia de Filosofia Routledge* (1998, vol. 5, pp.853-856), Boyle, no texto físico-químico intitulado *Ensaio do Nitro*, apresentou como o salitre -- KNO_3 -- poderia ser decomposto pelo fogo em e “espírito de nitro” e “nitro fixo” e ainda, como essas partes poderiam ser reintegradas para formar novamente a substância original. Desta maneira, o filósofo acreditava que o salitre era uma substância heterogênea, mista, constituída por duas substâncias com propriedades físico-químicas absolutamente distintas. Ora, se a reintegração era possível, a “Filosofia Corpuscular” de Boyle mostrava que os corpúsculos permaneceriam inalterados durante as reações físico-químicas, contrariamente a teoria das formas substanciais dos antigos e escolásticos.

³³ Trataremos nesta seção somente a questão da massa. A questão das forças será tratada mais adiante, nas últimas seções deste capítulo.

forma universal. Caso o éter ou qualquer outro corpo, por mais que estivesse inteiramente destituído de gravidade ou gravitasse menos em proporção a sua quantidade de matéria, então, desde que (de acordo com a opinião de Aristóteles, Descartes e outros) ele não diferisse de outros corpos exceto na forma de suas matéria, poderia por troca de sua forma ser transmutado gradativamente num [outro] corpo nas mesmas condições como aqueles que gravitam mais em proporção a sua quantidade de matéria; e, por outro lado, o corpo mais pesado, tomado gradualmente à forma de outro corpo, poderia gradualmente perder sua gravidade. E, por conseguinte, os pesos poderiam depender das formas dos corpos e poderiam ser alterados com as formas, ao contrário do que foi provado no corol. 1. (NEWTON, 1999, p.809).

Essas qualidades dos corpos que não podem ser intencionais ou remetidas [qualidades que não podem aumentar ou diminuir] e que pertencem a todos os corpos nos quais experimentos podem ser feitos, podem ser tomados como qualidade de todos os corpos universalmente. (NEWTON, 1999, p.795).

Tanto nas duas primeiras citações, os Corolários 1 e 2, quanto na “Regra 3”, Newton conseguiu estabelecer uma quantidade de matéria que independia por completo do tamanho e da forma do corpo, rompendo de vez com a visão aristotélica e cartesiana de “substância”. Como vimos no capítulo anterior, Descartes não tinha uma noção de quantidade de matéria independente do tamanho ou forma do objeto. Para os cartesianos, todos os corpos eram feitos de uma “substância extensa”, por isso não percebiam que volumes iguais poderiam conter diferentes tipos de matéria e vice-versa. Ao compreender o equívoco de Descartes, Newton estabeleceu uma “permanência”, como uma “categoria”, para a quantidade de matéria de seus corpos. Esta quantidade de matéria sofreria ação de forças, impactos, variações de velocidades e acelerações e ainda assim, permaneceria a mesma. A quantidade de matéria estava relacionada somente com o volume e a densidade. E foi o próprio Newton que explicou: “Assim, o ar, com o dobro da densidade, num espaço duplicado, tem o quádruplo da quantidade; num espaço triplicado, o sêxtuplo da quantidade.” (NEWTON, 1999, p.403). A introdução da “permanência” e da independência como características principais da quantidade de matéria newtoniana nos levou a questionar: Esta “permanência” e independência da quantidade de matéria estariam ligadas, de algum modo, ao conceito de espaço-tempo absoluto?

Em um primeiro momento, visto que para Newton, o espaço era uma “emanação” de Deus e as “coisas” -- a quantidade de matéria -- seria uma de Suas criações, fomos levados a pensar que, se Newton não tratasse essa massa nas bases de um espaço e de um tempo absolutos e a fizesse executar um movimento

absoluto, ele não poderia ter assegurado sua “permanência” e independência conforme o fez nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Porém, para tanto para Cohen (1999, p.107) quanto para Stein (1970, p.281), a discussão de Newton sobre o espaço e o tempo absolutos apresentada após as “Definições” poderia ser ignorada sem que nenhum dano fosse causado à compreensão da Física proposta no restante dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*.

Para Albert Einstein no livro a *Teoria da Relatividade Especial e Geral* teria sido um tratamento distinto do espaço e do tempo e não um tratamento espaço-temporal único o responsável direto pelo conceito de massa independente de Newton, pois, de algum modo este filósofo saberia que seu “sistema mecânico” não funcionaria conforme seu modelo. Para o físico, a própria palavra “espaço” era obscura e não tinha significado físico algum e, portanto, não poderia ser a ele atribuído a qualidade de ser “absoluto” - quanto mais influenciar um conceito como o de massa. E por esta razão que Einstein também afirmou, como Cohen (1999, p.107), que os conceitos de espaço e tempo absolutos não tiveram relevância para a Física Newtoniana. Em suas próprias palavras:

Quando Newton declarou que o espaço é absoluto, teve certamente presente no espírito a significação real do espaço e deve, por consequência e necessariamente, ter atribuído a seu espaço um estado de movimento bem definido que, confessemo-lo, não está completamente determinado pelos fenômenos da mecânica. Este espaço foi ainda inventado como absoluto, de outro ponto de vista. Sua eficácia para determinar a inércia continua independente, portanto não provocada por circunstâncias físicas de qualquer espécie. Ele age sobre as massas, nada age sobre ele. (EINSTEIN, 1981, p.168).

Apesar de acreditarmos que Newton tivesse afirmado que existiria uma diferença entre a “emanação” do espaço e a “criação” dos corpos, o filósofo nunca relacionou diretamente o espaço absoluto com a “permanência” da quantidade de matéria. Newton, em nenhuma das obras aqui consultadas, teria afirmado que, caso a quantidade de matéria variasse, o espaço e/ou o tempo deixariam de ser absolutos, porém sabemos que aquilo que sustentaria o espaço e o tempo absolutos seriam: a) a não influência dos acontecimentos físico; b) a não acessibilidade da percepção sensível de suas propriedades e estrutura e c) a não necessidade da existência de acontecimentos físicos para sua existência. Dados históricos nos mostram que Newton teria afirmado que somente a forma do corpo poderia ser mutável no espaço - a essência do corpo, isto é, a quantidade de

matéria em si, permaneceria sempre a mesma, independentemente do espaço ser absoluto ou não.

Assim, por exemplo, 1 litro de leite em uma jarra redonda teria a mesma quantidade de matéria que 1 litro de leite numa jarra retangular. Resumindo, para Newton: a) seria a forma pela qual nós enxergaríamos a quantidade de matéria que poderia variar e b) seria esta forma e não a quantidade de matéria que teria uma conexão direta com a natureza absoluta deste espaço. *Grosso modo*, não encontramos bases filosóficas ou historiográficas mais profundas, nas obras de Newton, para estabelecer uma relação sólida de dependência entre os conceitos de quantidade de matéria e espaço e/ou tempo absolutos.

Todavia, na correspondência trocada entre Clarke -- um discípulo de Newton -- e o filósofo Leibniz, houve menção a este assunto. Leibniz criticou duramente Newton quando este disse que devido à matéria ser a porção mais desconsiderável do universo, ficaria fácil admitir a existência de espaços vazios. Para Leibniz, que como Descartes, não admitia a existência do vácuo, quanto maior a quantidade de matéria, maior seria a presença de Deus - presença no sentido de sabedoria e poder e não presença material. A noção de espaço newtoniano também não escaparia das críticas de Leibniz. Este não aceitava que o espaço existisse independente do corpo. Leibniz perguntou a Clarke, representante do “newtonianismo” neste diálogo, se o espaço se “lembraria” do corpo depois que este fosse embora. Ao fazer esta pergunta acreditamos que Leibniz procurou estabelecer uma correspondência entre o espaço e o *sensorium*, conforme veremos mais adiante.

Entretanto, o principal argumento de Leibniz contra a noção de espaço absoluto de Newton -- onde a massa ou quantidade de matéria seria uma invariante por excelência -- baseava-se na aplicabilidade do “Princípio da Razão Suficiente”. O espaço não poderia ser um ser absoluto, pois, se assim o fosse, seria impossível aplicar a ele o “Princípio da Razão Suficiente”³⁴, o que iria contra o axioma de “leibniziano” que diz que todas as coisas teriam que ter uma razão suficiente para existir ou acontecer. Também ocorreria que sem uma coisa colocada em um ponto do espaço, este ponto não diferiria de outro ponto

³⁴ “Princípio segundo o qual nada existe que não tenha uma razão de ser. A razão não é, então, outra coisa que a série infinita dos requisitos dos fatos, que envolve o universo em sua integralidade (passado, presente e futuro), como os decretos de Deus relativos à existência do mundo”. (GALLAS, www.leibnizbrasil.pro.br, 2005).

qualquer. Supondo que o espaço seja uma coisa que exista por si mesma -- em vez da ordem de coisas que existiriam ao mesmo tempo -- por que os corpos estariam posicionados de uma certa maneira e não de outra? Porém, caso o espaço não fosse nada além de uma ordem pré-estabelecidas de coisas que existiriam ao mesmo tempo e não houvesse nada sem a presença dos corpos -- somente a possibilidade de coloca-los aqui ou ali - então, não haveria diferença alguma entre os lugares do espaço³⁵. Sobre a relação massa/espaço absoluto, voltaremos a discuti-la, sob outro ângulo, na próxima seção.

Resta ainda desvendarmos a explicação newtoniana para a criação e percepção dos novos corpos. Com base no que foi visto até então, poderíamos admitir que seria fácil distinguir os novos corpos daqueles já existentes por contraste ou comparação, visto que estes corpos, por serem criados e não emanados por Deus, estariam num processo contínuo do devir. Porém, segundo a interpretação de Stein (2002, p.275-276), a hipótese metafísica de Newton sugeriria o contrário: aquilo que chamamos de novos corpos, na verdade, seriam corpos já existentes que a mente humana, por qualquer motivo que fosse, não teria sido capaz de detectar a contento. O comentador apoiou esta hipótese na afirmação de Newton sobre a necessidade de supor que os corpos, novos e já existentes, fossem dotados de um poder de interação com as mentes: para Newton os corpos seriam capazes de excitar várias percepções nos sentidos e fantasias nas mentes humanas.

Esta questão também foi discutida calorosamente por Leibniz e Clarke. De forma sumária, a posição de Newton com relação à percepção, Divina e mundana, seria: a) Deus não utilizaria o espaço como um “órgão”, semelhante a um órgão físico, que Ele faria uso objetivando perceber as coisas. Ao contrário, Deus era onipresente e, portanto, tudo perceberia de imediato, sem órgãos intermediários; b) de forma análoga à mente humana que forma imagens no cérebro e não pelo cérebro, na presença de objetos, Deus utilizava-se do espaço infinito e absoluto para projetar todas as coisas; c) *sensorium* não seria um órgão, mas o lugar de sensação. Órgãos seriam os ouvidos, os olhos, etc. Mesmo assim, o espaço não seria exatamente um *sensorium*. Somente o seria por analogia; d) a presença da alma seria necessária a percepção, porém, não seria suficiente. Sem a presença de

³⁵ Pretendemos aprofundar um pouco mais a questão da controvérsia Newton/Leibniz na conclusão -- Capítulo 5 -- desta dissertação.

imagens a percepção tornar-se-ia impossível, mas esta somente também não seria suficiente. As substancias inanimadas, sem alma, nada perceberiam e as substancias vivas, com alma, só percebem as coisas ou as imagens das coisas. Haveria a necessidade do conjunto substancias vivas somadas as coisas ou as imagens das coisas para termos uma percepção plena do mundo; e) Deus perceberia as coisas não por estar presente ou operar junto a elas, mas através de suas vivência e inteligência. Esta vivência e inteligência sobre as coisas seriam provas de sua onipresença; f) a alma de um homem cego não o faria ver porque nenhuma imagem seria carregada até o *sensorium* onde a alma estaria presente. Contudo, o que os newtonianos não sabiam era como a alma de um homem que vê, veria as imagens dos corpos que estariam presentes. A única certeza que eles tinham era que o homem que vê não poderia perceber um objeto que não estivesse em sua presença, já que nada poderia agir ou sofrer ação daquilo que não estivesse presente e g) Deus sendo onipresente estaria realmente presente em tudo, essencialmente e substancialmente. Sua presença se manifestaria através de sua operação, mas ele não poderia operar se não estivesse naquele lugar. A alma não seria onipresente em toda parte do corpo e, conseqüentemente, não poderia operar sobre todas as partes do corpo, somente sobre o cérebro, os nervos e os espíritos, os quais pelas leis e comunicações apontadas por Deus influenciariam todo o corpo.

Deste modo, para Newton, quando esses novos corpos entrassem em contato com a parte do cérebro que ele chamou de nosso *sensorium* -- região onde se daria a percepção das coisas -- formas específicas de consciência seriam induzidas como conseqüência de movimentos específicos e, de modo similar, nossos desejos de ação causariam o movimento observado. Newton pensava que, a percepção seria correspondente ao perceptível, isto é, ao processo no qual os corpos agiriam sobre as mentes. Em suas próprias palavras:

Se alguém objetasse que os corpos não unidos às mentes não podem excitar diretamente percepções nas mentes, e que, portanto, uma vez que de fato existem corpos não unidos a mentes, se conclui que este poder não lhes é essencial, importa notar o seguinte: não se trata aqui de uma união atual, mas tão somente de uma faculdade nos corpos, em virtude da qual estes são capazes de uma união pelas forças da natureza. Do fato de que as partes do cérebro, particularmente as mais sutis, às quais está unida a mente, estão em um fluxo contínuo, sendo que novas partes entram no lugar das que saem, é manifesto que essa faculdade se encontra em todos os corpos. E, quer se considere a ação de Deus ou a natureza corpórea, remover esta não significa menos do que remover aquela outra faculdade, em

virtude da qual os corpos têm a capacidade de transferir ações recíprocas de um a outro, ou seja, reduzir o corpo a um espaço vazio. (NEWTON, 1978, p.146).

Segundo Stein (2002, p.271), Newton ao afirmar que “se alguém objetasse que os corpos não unidos às mentes não podem excitar diretamente percepções nas mentes, e que, portanto, uma vez que de fato existem corpos não unidos a mentes, se conclui que este poder não lhes é essencial”, estaria, de fato, fazendo mais uma crítica a Descartes. Newton teria em mente o experimento imaginário de Descartes no qual este tomaria uma porção de cera e retiraria dela todas as suas propriedades sem que suas características essenciais de “substância corpórea cera” fossem alteradas - lembramos que, para Descartes, somente a extensão não poderia ser removida do corpo.

Newton, em contrapartida, argumenta que remover não somente a extensão, mas também a dureza, a impenetrabilidade e a força inercial de um corpo reduziria este corpo a um espaço vazio; e remover do corpo o poder de produzir percepções na mente seria uma forma de anular a natureza substancial do corpo. Newton, na sua total rejeição à noção de substância cartesiana, tendo como principal ponto de discórdia a não inteligibilidade de seus atributos, em favor de uma noção de substancialidade desses atributos, sugeriu que até mesmo Deus poderia ser concebido inteiramente em termos de seus atributos, caso nós pudessemos formar idéias claras sobre os atributos do Divino. A idéia de percepção dos corpos de Newton foi outro ponto de discussão entre Clarke e Leibniz. Como vimos anteriormente, para Leibniz, Newton teria dito que o espaço era um órgão -- *sensorium* -- semelhante a um órgão físico utilizado por Deus para perceber as coisas.

Finalizando esta seção, parece que o alcance das afirmações de Newton sobre a questão dos corpos ultrapassou a questão teológica e entrou no campo do problema corpo-mente. Entretanto, assim como na questão teológica, o problema corpo-mente não apontou simplesmente para o monismo ou o dualismo, mas para a busca da compreensão dos atributos mentais e suas relações com os atributos corpóreos.

4.4

As Bases do Programa Mecanicista de Newton

Nesta seção, daremos início a discussão sobre as “Definições” e Leis do Movimento, bases do programa mecanicista de Newton, apresentadas nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. O programa mecanicista newtoniano teve nas proposições ligadas a gravitação dos corpos celestes seu ponto mais polêmico, pois foi o estabelecimento das forças contínuas -- força centrípeta chamada posteriormente pelo filósofo de força da gravidade -- que levou Newton a uma nova concepção da natureza: a ação a distância - não concebível na “Filosofia Mecanicista” tradicional.³⁶

Entretanto, para melhor compreendermos o programa mecanicista de Newton em sua totalidade, teremos sempre que ter em mente sua Filosofia primeira, ou seja, que o objetivo da ciência não seria explorar a “causa última” das coisas, pois este conhecimento estaria no âmbito do Divino inquestionável, e sim observá-las e compreender seu funcionamento. Assim, para Newton, não precisaríamos conhecer as causas das forças que agem à distancia como também não precisaríamos “inventar hipóteses” para que estas forças fossem aceitas como verdadeiras. Isto não significava que Newton não estivesse interessado no “por que?” das forças que agiam à distancia, ou seja, apesar de seu interesse pelas “causas primeiras”, tratando-se da Física, somente não era mais primordial perguntar “por que?” certas coisas aconteceriam e sim “como?” elas aconteceriam. Como discutido na seção 4.1, de acordo com a metafísica de Newton seria suficiente à gravidade existir e agir da forma que age, pois isto não contrariaria, de forma alguma, sua idéia de que Deus era “um agente inteligente” e

³⁶ Segundo Hall e Hall em *Newton e a Teoria da Matéria*, a “Filosofia Corpuscular”, de Boyle grande inspiradora da mecânica cartesiana defenderia a idéia de que todo processo natural consistiria no movimento dos corpos e de que toda mudança natural de movimento seria diretamente ocasionada pela ação direta de um corpo sobre outro - um corpo “empurrando” outro. Ressaltamos que, Newton e Descartes têm em comum essa “Filosofia Corpuscular” e teria sido através dela que a metafísica de Newton teve seu início. Essa “Filosofia Corpuscular” seria o ponto de partida, a “pedra fundamental”, para a construção da Física Newtoniana. Porém, nas palavras de J. E. McGuire e P.M. Rattansi, a interpretação do que seria a “Filosofia Mecânica” para Descartes e Newton diferiria no seguinte aspecto: “Para Newton, a fonte do erro desses filósofos [Descartes e os cartesianos] estava em eles não reconhecerem suficientemente que a filosofia mecânica, rigorosamente concebida, era apenas a estimativa das forças da natureza por cálculos geométricos, em termos de matéria em movimento. Esta concepção foi assegurada pelas brilhantes realizações dos *Principias*.” (MCGUIRE & RATTANSI, 2002, p.141).

que nosso conhecimento Dele viria de Sua imensa sabedoria, Sua excelente idéia das coisas e das causas finais.

É interessante observarmos também que, no prefácio dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton formulou uma nova visão do que seria a sua mecânica, visto que, assim como os antigos e medievais cultivaram essa mecânica como sendo simplesmente a ciência das máquinas, nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, ela passaria a ser a ciência dos poderes naturais. Nas palavras de Newton:

(...) conseqüentemente, nós ofertamos este trabalho como princípios matemáticos de Filosofia. De toda dificuldade que a Filosofia parece ter, a partir dos fenômenos dos movimentos, investigar as forças da Natureza e, então, dessas forças, demonstrar os outros fenômenos (...) (NEWTON, 1999, p.382).

Sobre a nova mecânica ter suas origens em Galileu e Descartes e, ser consolidada posteriormente por Newton, Koyré nos disse:

A ciência destes [Galileu, Descartes] não é o produto de engenheiros e artesãos, mas de homens cuja obra raramente ultrapassou o domínio da teoria. A nova balística foi elaborada, não por fabricantes de munição ou artilheiros, mas ‘contra eles’. E Galileu não aprendeu *seu* ofício com os homens que labutavam nos arsenais e estaleiros de Veneza. Muito pelo contrário: ele lhes ensinou o ofício *deles*. (KOYRÉ, 1991, p.153).

E em outra passagem, Koyré reforçou:

A ciência de Descartes e Galileu foi, bem entendido, extremamente importante para o engenheiro e o técnico. Afinal, ela provocou uma revolução técnica. Entretanto, não foi criada e desenvolvida nem por engenheiros, nem por técnicos, mas por teóricos e filósofos. (KOYRÉ, 1991, p.173).

Para Newton, essa seria a nova meta da Filosofia Natural: a partir das “Definições” e das Três Leis do Movimento, derivar-se-iam os fenômenos da natureza, não na concepção prévia da “Filosofia Mecânica” que previa obrigatoriamente, entre outras coisas, a existência de um éter ou vórtice, mas no sentido dos princípios que governam as forças de atração e repulsão, forças cuja ação se daria a distancia, no vácuo, forças que seriam descobertas através do razoamento dos fenômenos. Hall e Hall comentaram o programa mecanicista de Newton e questionaram:

Ninguém nega que há dificuldades na análise da mecânica Newtoniana quando realizada apenas em termos do mecanicismo de segunda ordem [não previa a existência do éter]. Em contraste, porém (ao que nos parece), se afirmarmos que, para Newton, todas as forças eram meros pseudoconceitos e a realidade estava sempre no impacto corpuscular etéreo, estaremos dizendo, na verdade, que os *Principia* dizem respeito a uma pseudoconsciência. (...). Será que os *Principia* contêm uma visão da realidade, ou serão eles apenas um modelo matemático conveniente – um modo de calcular os efeitos do éter, sem de fato introduzir o mecanismo etéreo? (HALL & HALL, 2002, p.110).

4.4.1

As “Definições”

Segundo observação de Stein (2002, p.283), no início dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton apresentou uma série de “Definições” cujas validades estariam atadas a evidências experimentais e a observações críticas e, em seguida, uma série de “Axiomas ou Leis do Movimento”. Em suma: a) a Definição I tratou da “quantidade de matéria” - massa; b) a Definição II tratou da “quantidade de movimento”; c) a Definição III tratou da *vis inertiae* - força inercial; d) a Definição IV tratou da “força impressa”; e) a Definição V tratou da “força centrípeta”; f) a Definição VI tratou da “quantidade absoluta da força centrípeta”; g) a Definição VII tratou da “quantidade acelerativa da força centrípeta” e finalmente h) a Definição VIII tratou da “quantidade motiva da força centrípeta”. Observamos que, das oito definições, seis trataram diretamente dos conceitos associados às noções gerais de força. Este fato fortalece o comentário de Cohen (2002, p.57-58) destacando o conceito de força como um dos pilares da Física Newtoniana. Seguem-se as oito definições:

a) A Definição I seria simplesmente uma definição da quantidade de matéria -- corpo ou massa³⁷ -- como já vista na seção anterior: “A quantidade de matéria é a

³⁷ Com relação à massa, Newton nunca foi capaz de explicar satisfatoriamente porque os objetos pesados e leves caem com a mesma aceleração, visto que o filósofo propôs a seguinte explicação para este fato: corpos maiores, com massa maior, resistiriam mais às forças que lhes seriam aplicadas. Nestes corpos, a inércia -- que seria uma força característica do corpo -- seria maior. Em outras palavras, a inércia seria medida pela “massa inercial”. Quanto maior fosse a “massa inercial” de um corpo, maior seria a força que teria que ser aplicada sobre este corpo para imprimir-lhe uma aceleração. Contudo, a gravidade contrariaria este efeito: ela atrairia mais intensamente os corpos com maior massa. Assim, quanto maior fosse o corpo, maior seria força da gravidade. Este fenômeno seria medido pelo peso, ou seja, pela “massa gravitacional” do corpo multiplicado pela aceleração da gravidade. Porém, percebemos que para Newton as “massas

medida da mesma, obtida conjuntamente a partir de sua densidade e volume.” (NEWTON, 1999, p.403). Recordamos que, segundo Cohen (2002, p.59), Newton introduziu o conceito de massa porque sua Filosofia Natural demandava uma medida da matéria que não fosse um mero “acidente” e que esta massa invariante não necessitaria do espaço e/ou do tempo absolutos. Reforçamos que a medida da massa não dependeria, de forma alguma, do lugar onde ela fosse averiguada - o valor dela seria sempre o mesmo. Newton, nessa definição, limitou-se a relacionar o corpo ao meio físico e este relacionamento serviu de base para outras definições e axiomas, conforme discutiremos mais adiante.

Em contrapartida, Ernst Mach (1999, p.89), criticou severamente a forma pela qual Newton definiu o conceito de massa. A primeira crítica deste importante filósofo, cujas idéias inspiraram o famoso Círculo de Viena, relacionava-se ao fato que Newton não teria definido previamente o conceito de densidade de forma apropriada. De acordo com Mach (1999, p.89), se a densidade fosse definida como a massa dividida pela unidade de volume, $d = m / V$, como a massa poderia ser definida como sendo proporcional a densidade e ao volume, simultaneamente? Nas palavras de Mach:

Salientamos primeiro, com relação ao conceito de massa que, a formulação de Newton, definindo massa como a quantidade de matéria de um corpo, determinada pelo produto de volume e densidade, é infeliz. Uma vez que só podemos definir densidade como a massa de volume unitário, o círculo é óbvio. (MARCH *apud* COHEN, 1999, p.89-90).

Porém, não nos parece óbvio que Newton não tivesse percebido a circularidade de sua definição de massa. Sobre o “suposto” engano de Newton, o comentarista Henry Crew, nos disse que:

(...) na época de Newton, densidade e gravidade específica eram utilizadas como sinônimos, e a densidade da água era arbitrariamente tomada como unitária. As três unidades fundamentais empregadas (...) eram, portanto, densidade, comprimento e tempo, em lugar das nossas, massa, comprimento e tempo. Em tal sistema, é tanto

inerciais” e “gravitacionais” seriam iguais para todos os corpos. Logo, quanto maior e mais denso fosse o corpo, maior seria sua inércia -- sua resistência à aceleração -- mas também maior seria o seu peso e, portanto, a força da gravidade que agiria sobre ele -- só que a aceleração da gravidade, como sabemos, seria uma constante. Destarte, o corpo resistiria mais à gravidade, todavia esta seria simultaneamente mais intensa, compensando a inércia natural do corpo. Concluindo o raciocínio nas bases newtonianas, percebemos então que os dois efeitos compensam-se mutuamente de forma exata, tendo como consequência que a gravidade comunicaria a mesma aceleração a todos os corpos, fossem quais fossem suas massas. Infelizmente, a mecânica racional de Newton não explicou porque as massas inercial e gravitacional eram perfeitamente iguais.

natural como logicamente permissível definir massa em termos de densidade. (CREW *apud* COHEN, 1999, p.95).

Portanto, ao contrário do que pensava Mach (1999, p.89-90), talvez Newton não tivesse se enganado sobre a relação da quantidade de matéria com a densidade e o volume, pois no século XVII a densidade era definida de forma completamente diferente do que seria no século XX. Em outra passagem dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, no “Corolário 4” da “Proposição 6”, “Teorema 6”, Newton mencionou e, de certa forma, definiu a densidade na seguinte afirmação:

Se todas as partículas sólidas de todos os corpos são da mesma densidade, e não podem ser rarefeitas sem poros, então um vazio ou vácuo deve ser admitido. Por corpos de mesma densidade refiro-me àqueles cujas inércias estão na proporção de seus volumes. (NEWTON, 1999, p.810).

Observamos que Newton não afirmou que as “pequenas partículas sólidas” eram todas do mesmo tamanho, mas afirmou que elas possuíam a mesma densidade. Se ele tivesse dito que elas eram do mesmo tamanho, implicaria dizer que suas densidades seriam proporcionais ao número -- contagem -- dessas “pequenas partículas sólidas” em volumes iguais, confirmando a circularidade da proposição conforme sugeriu Mach (1999, p.89-90).

b) A Definição II diz que a “quantidade de movimento” seria a soma dos movimentos de todas as partes do corpo, a saber: “A quantidade de movimento é a medida do mesmo, obtida conjuntamente a partir da velocidade e da quantidade de matéria.” (NEWTON, 1999, p.404). Mesmo que não explicitamente, Newton nesta definição afirma que a “quantidade de movimento”, contemporaneamente conhecida como *momentum*, já mencionado anteriormente, seria o resultado da massa multiplicada pela velocidade. Por outro lado, Cohen (1999, p.95-96) afirmou que Newton, de fato, utilizava o termo “quantidade de movimento” como sinônimo de “movimento”. Na Segunda Lei do Movimento, quando Newton afirma que “a mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida (...)” (NEWTON, 1999, p.416), podemos substituir o termo “movimento” por “quantidade de movimento”, pois a força motora seria igual a “quantidade de

movimento” no tempo - $\mathbf{F} = (\mathbf{m.v}) / t$ ³⁸. Voltaremos a discutir a Segunda Lei do Movimento na próxima seção.

Ainda sobre a “quantidade de movimento”, argumentamos que Newton poderia tê-la conceituado da mesma forma que conceituou a extensão, a “dureza”, a impenetrabilidade e a força inercial na “Regra 3”, conforme discutido na seção 4.3.4. Nesta regra, Newton admitiu que as características de um corpo, como um todo, estavam definidas também nas suas partículas últimas, isto é, se um corpo possuísse extensão, “dureza”, impenetrabilidade e força inercial era porque em suas partículas últimas ele também possuiria tais características. Na Definição II, percebemos que a mesma regra poderia ser aplicada com relação à “quantidade de movimento”: um corpo, como um todo, possuiria uma “quantidade de movimento” se e somente se suas partículas últimas também a possuísse. Em suma: a “quantidade de movimento” de um corpo seria o somatório das “quantidades de movimento” de suas partículas últimas.

c) A Definição III diz que: “A *vis insita* ou força inata da matéria é um poder de resistir através do qual todo corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.” (NEWTON, 1999, p.404-405). Segundo Cohen: “O conceito de um corpo estando num ‘estado’ de movimento foi tomado por Newton de Descartes.” (COHEN, 2002, p.61), pois fora este que teria inaugurado a nova maneira de se pensar a natureza. Antes de Descartes, prevalecia o pensamento aristotélico onde o movimento era um processo de passagem da potência ao ato. Newton também passaria a usar o termo *vis inertiae*, em lugar do termo *vis insita*, utilizado por seus antecessores. Isto porque para Newton, um corpo só teria dificuldade de mudar seu estado de movimento aludindo uma “inação”, diferente do que o termo *insita* sugeria, ou seja, uma mudança de qualquer ordem. Assim sendo, no parágrafo seguinte à Definição III, Newton introduziu a *vis inertiae* -- força inercial ou força de inatividade -- como alternativa válida à força inata da matéria - *vis insita*. Sobre a introdução do termo *vis inertiae*, Cohen nos disse:

Newton nunca explicou porque ele escreveu sobre a ‘*vis inertiae*’, [como] uma ‘força de inércia’, em vez de uma propriedade de inércia e nós não temos bases

³⁸ Pela Segunda Lei do Movimento de Newton, $\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$, e já sabemos que $\mathbf{a} = \mathbf{v} / t$, portanto, fazendo a substituição, $\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{v} / t$ ou $\mathbf{F} = (\mathbf{m} \cdot \mathbf{v}) / t$.

para adivinhar qual era seu estado mental [o que ele estava pensando naquele momento]. Talvez ele estivesse somente transformando a *vis inertiae* em uma *vis* de um tipo novo e diferente. (COHEN, 2002, p.62).

Voltando ao parágrafo que sucede a Definição III, ao contrário de Descartes, Newton fez uma observação sobre o fato desta força, a *vis insita*, poder ser quantitativamente mensurável através da massa do corpo e explicou que sempre que uma força fosse impressa sobre um corpo **A** por outro corpo **B**, a *vis insita*, não a *vis inertiae*, seria exercida de duas maneiras:

- i) como uma resistência proveniente do próprio corpo visando conservar seu estado atual, ou seja, se o corpo estivesse parado a *vis insita* faria com que ele permanecesse parado;
- ii) como um impulso de um corpo para mudar o estado do outro corpo;

No capítulo anterior, vimos que Descartes dividiu a “força do corpo em movimento” em duas e seus significados eram semelhantes à definição de Newton para a *vis insita*: a “força avante” e a “força de resistência”, respectivas aos corpos em movimento. Vimos também que Descartes não deixou muito claro as causas e os efeitos destas forças -- “avante” e “resistência” -- pois o filósofo não sabia dizer com certeza qual seria sua natureza e como elas seriam calculadas. Portanto, a partir deste ponto discutiremos a solução de Newton para o problema das forças que provocam “mudanças”, ou seja, as Definições IV, V, VI, VII e VIII e as Segunda e Terceira Leis do Movimento.

d) A Definição IV diz que uma força impressa seria uma ação exercida diretamente sobre um corpo e tenderia a alterar seu estado de repouso ou movimento. “Uma força impressa é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso, seja de movimento uniforme em uma linha reta.” (NEWTON, 1999, p.405). Segundo Michel Blay (2001, p.226), uma força impressa não seria uma força no sentido contemporâneo do termo “força”: o termo contemporâneo correto para ela seria “impulso”. A diferença entre os termos estaria no tempo de duração da ação. Uma “força”, contemporaneamente

falando, implicaria num tempo maior que “um instante de tempo”, infinitesimal, normalmente associado ao “impulso”.

Porém Newton, no parágrafo seguinte à definição, esclareceu o sentido desta força nos dizendo que ela consistiria puramente em uma “ação” e, portanto, não permaneceria no corpo quando terminasse a “ação” como um efeito observável. Assim concluímos que a força impressa seria conceitualmente diferente da força inercial que não só permaneceria no corpo, mas também pertenceria as características de base que compunham os corpúsculos rígidos. A força impressa, ao contrário da força inercial, estaria relacionada diretamente com a mudança de movimento e não com um “estado” -- “permanência” -- de repouso ou de movimento retilíneo uniforme. Newton afirmou que esta “ação” duraria enquanto a força impressa estivesse atuando no corpo, ou seja, enquanto a força estivesse produzindo alterações no movimento. Destarte, Newton explicou:

Essa força [força impressa] consiste apenas na ação, e não permanece no corpo quando termina a ação. Pois um corpo mantém todo novo estado que ele adquire, somente por sua inércia. Mas as forças imprimidas têm origens diferentes, tais como de percussão, de pressão e de força centrípeta. (NEWTON, 1999, p.405).

De acordo com Newton, a força impressa poderia ter como origem diferentes forças: percussão, pressão e centrípeta. Assim, com base no artigo *A Segunda Lei de Newton e o Conceito de Força no Principia* de Cohen, montamos o quadro seguinte objetivando relacionar as diferentes origens da mais importante força newtoniana:

“FORÇA IMPRESSA”		
Força de Percussão	Força de Pressão	Força Central
Esta força estaria na origem da dinâmica newtoniana e seria semelhante a um “sopro”, algo que tivesse uma duração de tempo muito pequena. Para Newton, essa duração seria insignificante.	Esta força seria semelhante a um “empurrão” com uma duração de tempo maior que a força de percussão. A 2ª. Lei de Newton seria a representação da ação dessa força num corpo.	Esta força serviu de base para todos os cálculos da Física de Newton. Seria a força que tiraria o corpo do movimento retilíneo e o “puxaria” para um centro. Seria a força oposta à força centrífuga que faria com que o corpo se afastasse do centro do movimento
É uma força de contato. Está de acordo com a “Filosofia Mecânica” tradicional.	É uma força de contato. Está de acordo com a “Filosofia Mecânica” tradicional.	É uma força, por vezes, de ação à distância, mas pode ser de contato em casos especiais. Não está de acordo com a “Filosofia Mecânica” tradicional.
A força de Percussão altera o movimento imediatamente. O tempo seria quase desprezível, infinitesimal.	A força de Pressão altera o movimento continuamente. O tempo não seria desprezível, apesar de muito pequeno.	A força Central altera o movimento continuamente, em um dado tempo. O tempo seria claramente perceptível.
A força de Percussão -- como causa -- e a alteração do movimento - como efeito - são observáveis separadamente.	A força de Pressão -- como causa -- e a alteração do movimento - como efeito - são observáveis separadamente.	Somente a alteração do movimento - como efeito - é observável: a força Centrípeta -- como causa - existe, mas não é observável.
A força de Percussão não pode ser quantificada independentemente da alteração do movimento.	A força de Pressão pode ser quantificada independentemente da alteração do movimento.	A força Central pode ser quantificada independentemente da alteração do movimento.

Cohen em outro artigo, *Os Conceitos de Newton sobre Força e Massa*, fez um interessante comentário comparando a força centrípeta com as forças de percussão e pressão, dentro da “Filosofia Mecânica”:

A força centrípeta difere da percussão e pressão em um aspecto notável. Percussão e pressão são resultados do mesmo tipo de ação física observável. Em ambas, existe um contato entre um corpo e outro, fornecendo tipicamente evidências de uma força agindo, por exemplo, uma bola de bilhar chocando-se contra outra bola de bilhar. Estes são os tipos de forças que foram construídas baseadas na chamada “Filosofia Mecânica”, particularmente na Filosofia Natural de Descartes. Estas forças mostram o princípio da matéria em contato com outra matéria para produzir ou alterar um movimento. A força centrípeta, entretanto, é muito diferente. Em casos importantes, como o movimento orbital, nós não sabemos que existe uma força centrípeta olhando a ação, como é o caso de uma pressão ou uma percussão; a única evidência de que uma força centrípeta está agindo é que existe uma mudança contínua no estado do corpo, um contínuo desvio do movimento retilíneo uniforme. (COHEN, 2002, p.62-63).

Uma outra importante característica da Definição IV seria que esta definição, em particular, veio finalmente por um fim na confusa definição de “força do corpo em movimento” de Descartes. Lembramos que, para Descartes, não poderíamos saber o “quanto” das forças seria transferida entre os corpos na hora de um choque ou como estas forças seriam calculadas. A dúvida de Descartes, em termos newtonianos, poderia ser expressa da seguinte forma: Quando a *vis insita* fosse exercida sob a forma de um impulso, qual seria o valor da mesma? Pela Segunda Lei do Movimento de Newton cujo enunciado seria: “A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.” (NEWTON, 1999, p.416), a resposta poderia ser facilmente fornecida, pois Newton, no parágrafo que sucede a Segunda Lei do Movimento, afirmou que:

Se qualquer força [F] gera um movimento uma força dupla [2F] vai gerar um movimento duplo [2.m.v], uma força tripla, um movimento triplo [3.m.v], seja aquela força imprimida de uma única vez, ou gradual e sucessivamente. Esse movimento (sendo sempre orientado na mesma direção da força geradora), no caso do corpo se mover antes, é somado ou subtraído do primeiro movimento, dependendo se eles agem conjuntamente na mesma direção ou se [agem] contrariamente um ao outro; ou quando oblíquos, obliquamente combinados de modo a produzir um novo movimento composto a partir da determinação de ambos. (NEWTON, 1999, p.416-417).

Por outro lado, Cohen (2002, p.66) defendeu e ressaltou a influência de Descartes sobre Newton, na elaboração deste parágrafo explicativo. Segundo o comentador, Descartes ao redigir sua *Ótica* e particularmente no capítulo que tratava da refração, estabeleceu uma analogia entre este fenômeno e o choque de uma bola na água. Este choque, segundo o comentador seria semelhante à força de percussão que originaria tanto para a bola quanto para a luz, um movimento retilíneo uniforme. Porém, lembramos que, para Descartes, esta força seria a “força avante” aplicada ao corpo, no caso a bola, durante um curtíssimo intervalo de tempo. Sendo assim, conforme argumentamos ao longo deste trabalho, mesmo que “inspirado” por Descartes, Newton teria de fato “corrigido” os problemas da Física Cartesiana.

Assim finalmente, a dificuldade de Descartes para calcular o valor da *vis insita* caía por terra. Newton estabeleceu uma forte relação entre a força e o movimento, relação esta que permitiria precisar não somente o valor desta força

como também traçar todo o movimento e tudo aquilo que o compõe -- módulo da velocidade, sentido e direção -- em detalhes.

e) A Definição V diz simplesmente que a força centrípeta seria aquela direcionada para o centro de curvatura do movimento, ao contrário da centrífuga, que, por definição, seria direcionada para fora deste centro: “Uma força centrípeta é aquela pela qual os corpos são dirigidos, impelidos ou tendem, de qualquer maneira, para um ponto ou centro.” (NEWTON, 1999, p.405). Domenico Bertoloni Meli fez o seguinte comentário sobre a relação entre as forças centrífuga e centrípeta”:

Em sua maturidade Newton interpretou a força centrífuga no movimento orbital como uma reação à força centrípeta: assim, elas foram consideradas iguais e opostas -- enquanto no passado elas pareciam ser somente opostas, mas não necessariamente iguais -- *por isso a força centrífuga foi ignorada nos cálculos [feitos por Newton].* (MELI *apud* BRACKENRIDGE, 2001, p.113).

Newton explicou esta nova força centrípeta com o velho exemplo da pedra e da funda, utilizado anteriormente por Descartes. Newton afirmou que, uma pedra girada em uma funda, conforme já relatado por Descartes, tenderia a escapar da mão de quem a gira e, portanto, esticaria a funda. Porém, a força que resistiria a essa tendência de escape da pedra, isto é, a força pela qual a funda puxaria a pedra para dentro do círculo e não a deixaria escapar, Newton a chamou de “força centrípeta”. Assim sendo, analisando detalhadamente os efeitos da força centrípeta, Newton concluiu que o mesmo processo poderia ser aplicado a todos os corpos que girassem, fosse lá qual fosse a órbita de giro: todos os corpos tenderiam a se afastar do centro de curvatura do movimento e se não fosse pela força centrípeta, eles “voariam para longe em linha reta, num movimento uniforme.” (NEWTON, 1999, 405).

Através da Definição V, Newton terminaria de vez com qualquer dúvida que ainda pudesse existir com relação ao problema do lançamento de projéteis. Newton comparou o movimento de um projétil na terra com o movimento planetário, ambos sob a luz da existência dos espaços vazios:

A única resistência que os projéteis encontram no nosso ar é do próprio ar. Com o ar removido, como no vácuo de Boyle, a resistência cessa, [assim] até uma tênue pena e um sólido bloco de ouro caem com velocidades iguais em tal vácuo. E o caso é o mesmo para os espaços celestiais, que estão acima da atmosfera da terra. Todos os corpos se movem muito livremente nesses espaços, e conseqüentemente planetas e cometas devem andar em círculos continuamente em órbitas de natureza

e a posições dadas, (...); entretanto, embora esses corpos possam permanecer e de fato permaneçam em suas órbitas pelas meras leis da gravidade [as Três Leis do Movimento de Newton], não poderiam, de forma alguma, ter originalmente derivado dessas leis a posição regular das órbitas em si. (NEWTON, 1999, p.939-940).

Como já mostrado no capítulo anterior, este problema teve uma solução insatisfatória na Física aristotélica e de certa forma incompleta na Física de Galileu³⁹. Nas palavras de Newton:

Se não fosse pela força da gravidade, um projétil não se desviaria em direção a Terra, mas se afastaria dela em linha reta com movimento uniforme, se a resistência do ar fosse removida. É por sua gravidade que ele é desviado continuamente de seu curso retilíneo e forçado a se dirigir a Terra, em maior ou menor grau de proporção a sua força de gravidade e a sua velocidade de seu movimento. (NEWTON, 1999, p.405-406).

Newton prosseguiria, informando que a quantidade de qualquer força centrípeta poderia ser de três “tipos de medidas”: a) medida absoluta; b) medida acelerativa e c) medida motora. Nas definições seguintes, Newton exploraria os diversos aspectos destes três conceitos.

f) A Definição VI, em termos newtonianos, trataria medição da intensidade da força centrípeta relacionada quantidade de matéria. Como dito por Newton: “A quantidade absoluta de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à eficácia da causa que a propaga a partir do centro, através dos espaços ao seu redor.” (NEWTON, 1999, p.406). Newton deu o exemplo da força gravitacional que seria menor no alto das grandes montanhas e menor nos vales devido à variação da distância. Porém, sob a luz da medida absoluta, a força gravitacional seria a mesma, pois quaisquer que fossem as massas dos corpos, o valor da força gravitacional seria imutável - desconsideradas as distancias e os atritos.

³⁹ É fato que fora Galileu quem deduziu a trajetória parabólica para projéteis como uma composição do movimento uniforme horizontal e um movimento acelerado vertical. Neste caso, o conceito de inércia linear seria aplicado matematicamente como descrito no texto *Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano*, mas não seria expresso formalmente. A observação de Galileu foi seguida de teoremas adicionais que relatavam trajetórias e por tabelas de altitude e distância calculadas para curvas inicialmente oblíquas. Por causa da grande resistência do ar as altas velocidades, as tabelas assumiram que as baixas velocidades não tinham muita importância prática, mas, como outras teorias de Galileu, elas abriram caminho para rápidos e sucessivos refinamentos nas mãos de outros cientistas, principalmente Newton.

g) A Definição VII relacionaria as quantidades de matéria e a distância entre elas, além da intensidade da força centrípeta - quantidade acelerativa: “A quantidade acelerativa de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional à velocidade que ela gera em um dado tempo.” (NEWTON, 1999, p.407). De acordo com Cohen (1999, p.105), Newton, nesta definição, introduziu o termo “em um dado tempo”, visto que, pela primeira vez, ele estava lidando com uma força de ação contínua e não com uma força de “impulso” como a força de percussão cujo tempo poderia ser infinitesimal, ou a força de pressão. Assim sendo, a medida acelerativa seria proporcional a uma velocidade e a uma aceleração gerada “em um dado tempo”: quanto maior seria a medida acelerativa da força centrípeta, maior seria a aceleração e a velocidade da massa. Para a medida acelerativa, a distancia, ou melhor, o inverso do quadrado da distancia seria considerada, visto que a velocidade seria uma função da mesma.

Basicamente, a medida acelerativa de uma força centrípeta seria o efeito de uma determinada força, agindo continuamente numa determinada unidade de massa, em um dado tempo - contemporaneamente, esta poderia ser uma boa definição para o termo “campo”. Para fins de simplificação, um “campo”, neste caso, teria o mesmo efeito sobre os corpos que uma força agindo à distância - uma força centrípeta. Lembramos que, este novo conceito introduzido pela Física Newtoniana era contrário aos princípios básicos da “Filosofia Mecânica”. Como já dito anteriormente, um dos princípios básicos da “Filosofia Mecânica” -- versão cartesiana -- exigiam um contato direto entre corpos para a ação de forças.

Por inferência, poderíamos dizer que a medida acelerativa de uma força centrípeta seria a própria aceleração gravidade, pois segundo Newton, esta medida seria maior se à distância entre este corpo e o centro da Terra fosse menor. No caso de distâncias iguais, isto é, um corpo **A** posicionado à mesma distância do centro da Terra que um corpo **B** e, retirando-se todo e qualquer atrito que pudesse existir, a medida acelerativa da força centrípeta seria a mesma para ambos os corpos em queda livre, fossem estes leves ou pesados. Resumidamente, a medida acelerativa de uma força centrípeta seria a medida da força gravitacional “proporcional à velocidade que ela gera em um dado tempo”. Em outras palavras, seria o valor -- em módulo -- da aceleração que aparece na Segunda Lei do Movimento, agora sob a forma da constante **g** cuja magnitude aproximada seria

$9,8 \text{ m/s}^2$. Assim, $F = m.a$ passaria a ser $P = m.g$ onde P representaria o peso do corpo⁴⁰.

h) A Definição VIII definiria a quantidade motora da força centrípeta e como ela seria medida. A medida da quantidade motora da força centrípeta seria proporcional à “quantidade de movimento” gerada “em um dado tempo”, ou seja, seria contemporaneamente o *momentum* gerado em um dado tempo. Como a “quantidade de movimento” era proporcional à massa, então, a quantidade motora da força centrípeta deveria ser também proporcional à massa. Segundo o próprio Newton: “A quantidade motora de uma força centrípeta é a medida da mesma, proporcional ao movimento que ela gera em um certo tempo” (NEWTON, 1999, p.407). Newton, no parágrafo que sucede esta definição, explicaria melhor a relação entre as quantidades motora e acelerativa da força centrípeta:

(...) a quantidade de movimento é o produto da celeridade pela quantidade de matéria; e a força motora se origina da multiplicação da força acelerativa pela mesma quantidade de matéria. E a soma das ações da força acelerativa sobre as várias partículas do corpo é a força motora do todo. Assim, próximo à superfície da Terra, onde a gravidade acelerativa ou a força que produz a gravidade em todos os corpos é a mesma, a gravidade motora ou o peso é igual ao corpo. Mas se subíssemos a regiões mais altas, onde a gravidade acelerativa é menor, o peso seria da mesma maneira diminuído, e seria sempre o produto do corpo pela gravidade acelerativa. (NEWTON, 1999, p.407-408).

Grosso modo, observamos que, as medidas das quantidades absoluta, acelerativa e motora diferiam do seguinte modo: a) a medida da quantidade absoluta estava ligada ao “tamanho do corpo” - a massa; b) a medida da quantidade acelerativa estava ligada à duração e c) a medida da quantidade motora

⁴⁰ Do mesmo modo que a Lua é “puxada” pela Terra, uma pedra suspensa em nossas mãos, também o é. Em ambos os casos, os corpos são “puxados” para o centro da Terra, pois Newton criou um método, como visto no Capítulo 2 que, por aproximações, poderíamos considerar que a massa da Terra estivesse concentrada em seu centro. Assim, dizemos que um corpo é mais pesado que outro se a força com que a Terra o “puxa”, no mesmo lugar de medição, for maior. De acordo com a equação que exprime a Lei da Gravitação Universal -- descrita na nota de rodapé 3, do Capítulo 2 -- o valor da força gravitacional ou peso de uma pedra próxima à superfície da Terra é: $F = G M.m/R^2$ onde: M é a massa da Terra, m é a massa da pedra, G é a constante da gravitação universal cujo valor é $6,67 \times 10^{-11}$ e R é o raio da Terra. Conseqüentemente, se compararmos a expressão da gravitação com a expressão dada pela Segunda Lei do Movimento, isto é, $F = m.g$ que também calcula o peso de um corpo, onde: m é a massa da pedra e g é o valor da aceleração da gravidade no lugar de medição que queremos calcular, obteremos: $G M.m/R^2 = m.g \Rightarrow g = G M/R^2 \Rightarrow g = 6,67 \times 10^{-11} \times 6,0 \times 10^{24} / (6,4 \times 10^6)^2 \Rightarrow g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Lembramos que, o valor de g , ao contrário do valor de G , não é uma constante universal, e sim uma constante local, pois ele depende da massa e do raio da Terra. Por exemplo, a Lua tem outro valor de g , seis vezes menor que g da Terra.

estava ligada ao *momentum*. Newton acreditava que, as quantidades absoluta, acelerativa e motora da força centrípeta estavam inter-relacionadas, de forma que, ao final de suas descrições, concluiu:

A essas quantidades de forças podemos chamar, para sermos breves, pelos nomes de força motora, acelerativa e absoluta; e, para fins de distinção, podemos considerá-las em relação aos corpos que tendem para o centro, aos lugares desses corpos e ao centro de força para o qual eles tendem; isto é, atribuo a força motora ao corpo como um esforço e propensão do todo em direção a um centro, surgindo das propensões das diversas partes tomadas em conjunto; a força acelerativa ao lugar do corpo, como um certo poder difundido do centro, através de cada espaço circundante, para mover os corpos que estão nesses lugares (...). Pois pretendo aqui apenas oferecer uma noção matemática daquelas forças, sem considerar suas causas ou posições físicas. (NEWTON, 1999, p.407).

A citação acima novamente descreveria a concepção do que seria hoje um “campo” distribuído sobre toda e qualquer superfície e tendendo para o centro. Segundo Stein (2002, 288), a quantidade absoluta da força centrípeta referir-se-ia à força do “campo” como um todo, isto é, seria a “eficácia da causa” -- mencionada na Definição VI -- pela qual ela foi produzida ou propagada - contemporaneamente chamada de “fonte da força”. Essa “fonte da força” estaria localizada no centro do “campo”. O Sol seria um bom exemplo do termo “fonte de força” para Newton, caso ele o tivesse utilizado. Newton sabia que o Sol seria mais eficaz na produção de um “campo gravitacional” que qualquer outro planeta conhecido, devido a sua enorme massa. A quantidade acelerativa da força centrípeta caracterizaria a intensidade da aceleração do corpo em qualquer local do “campo”. E por último, a quantidade motora da força centrípeta caracterizaria a ação do “campo” sobre o corpo, isto é, a medida da força impressa em um corpo pelo “campo”. No caso da gravidade, a quantidade motora da força sobre o corpo seria simplesmente o peso do corpo em questão.

Encerraremos esta seção com uma citação de Newton extraída do conjunto de anotações intitulado *Algumas Questões Filosóficas* cuja tradução encontra-se na *Introdução a Filosofia Natural* de Cohen. Este conjunto de anotações, segundo o comentador, seriam os primeiros escritos a apresentar uma Filosofia completa da natureza em termos rigorosamente mecanicistas. Uma curiosidade sobre esta obra newtoniana: sobre o título, Newton escreveu o seguinte lema: “Platão é meu amigo, Aristóteles é meu amigo, porém minha melhor amiga é a verdade.” (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, pp.19-20). Neste conjunto de

anotações, entre outros assuntos, Newton falou especialmente sobre a gravidade: “A gravidade dos corpos é como sua solidez, porque todos os corpos caem por espaços iguais em tempos iguais, [não] levando-se em conta a resistência do ar.” (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.28).

4.4.2

As Leis do Movimento

Terminada a discussão das oito definições newtonianas dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, que tratam principalmente das forças, finalizaremos este capítulo fazendo uma análise dos Axiomas ou Leis do Movimento newtoniano - *Axiomata sive leges naturae*. Para não perdermos a discussão da seção anterior, Smith nos diz que: “Duas forças são da mesma espécie física se e somente se elas são caracterizadas pela mesma lei.” (SMITH, 2002, p.151). Por isto que, nesta análise das Três Leis do Movimento de Newton ressaltaremos os aspectos mais ligados a sua bem-sucedida mecânica racional, porém, sempre que possível, nos remeteremos à metafísica que acreditamos estar por trás dessas leis. Lembramos que, tanto a Primeira quanto a Segunda Lei foram previamente mencionadas e parcialmente analisadas no decorrer de nossa discussão anterior sobre as “Definições” na seção 4.4.1. Sobre a importância filosófica do estabelecimento de leis que regeriam os movimentos, Newton na “Questão 31” da *Ótica* afirmou que:

Dizer que toda sorte de coisas é dotada de uma qualidade oculta específica, mediante a qual elas agem e produzem efeitos manifestos, é não dizer nada. Mas derivar dos fenômenos dois ou três princípios gerais do movimento, e depois dizer como as propriedades e as ações de todas as coisas corpóreas decorrem desses princípios manifestos, seria um enorme passo na Filosofia, mesmo que as causas desses princípios ainda não tivessem sido descobertas. Por conseguinte não tenho escrúpulos de propor os princípios do movimento (...), que são de alcance muito geral, e deixar suas causas por desvendar. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.78)

4.4.2.1

A Primeira Lei do Movimento

“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.” (NEWTON, 1999, p.416).

Previamente vimos que, a Primeira Lei do Movimento de Newton seria uma compilação das duas primeiras leis de Descartes⁴¹. Assim, face a esta evidência, questionamos: Qual seria então a diferença entre as versões newtoniana e cartesiana da lei da inércia? e Por que a versão newtoniana foi considerada como a “verdadeira” lei da inércia? Segundo comentário de Cohen, a diferença entre a Primeira Lei do Movimento de Newton e as duas leis Descartes seria:

Para Descartes, (...), a afirmação do princípio da inércia requer duas leis em vez de uma, um fato que indica que as ‘leis da natureza’ de Descartes não são formuladas de modo a permiti-lo inferir forças dos movimentos, como Newton fez em seu *Principia*. (COHEN, 1999, p.110).

Assim, podemos identificar claramente a diferença entre as versões newtoniana e cartesiana da lei da inércia: por mais valorosa que tenha sido a contribuição de Descartes para o surgimento de um novo modo de se “ver e viver a natureza”, foi a Física Newtoniana e não a cartesiana que codificou pela primeira vez o fascinante conceito de força em seus mínimos detalhes. Corroborando nossa resposta a primeira questão, Cohen (1999, p.96) reafirma sua hipótese sobre o conceito de força ser um dos baluartes da Física de Newton - juntamente com o conceito de massa.

Continuando a análise do enunciado da lei da inércia, Newton nos forneceu como exemplo, três tipos distintos de movimento inercial, porém todos eles foram baseados no movimento curvilíneo produzido pela ação de uma força centrípeta e não no movimento retilíneo uniforme citado nessa lei. Todavia, de acordo com Cohen (1999, p.97), para Newton, o objetivo maior da Primeira Lei do Movimento teria sido sempre o de explicitar a condição sob a qual poderíamos

⁴¹ Ver Capítulo 3.

inferir o desempenho de uma força contínua - por exemplo, da força centrípeta⁴². Ressaltamos que, Newton já havia feito menção ao princípio da inércia nas Definições III e IV, contudo, naquele momento, o filósofo ainda não havia definido a força centrípeta adequadamente - ele só o viria a fazê-lo na Definição V.

Ao investigarmos o objetivo maior de Newton com relação ao enunciado da Primeira Lei, mesmo sob a luz da observação anterior de Cohen (1999, p.97), não poderíamos ignorar o fato que o filósofo referiu-se claramente as “forças imprimidas” num corpo e conforme discutido na seção anterior, a “força imprimida” poderia ser de três tipos: a) percussão - força de impulso; b) pressão - força instantânea e c) centrípeta - força contínua. Sendo assim, a Primeira Lei do Movimento, em concordância com seu enunciado, seria válida para qualquer tipo de força newtoniana, descrita na Definição IV, mesmo que Newton tenha dado ênfase as forças de ação contínua, conforme comentado por Cohen (1999, p.97). Seguem os exemplos dados pelo próprio Newton que tiveram como objetivo elucidar a Primeira Lei do Movimento de Newton:

- i) ”Projéteis continuam em seus movimentos, desde que não sejam retardados pela resistência do ar, ou impelidos para baixo pela força da gravidade.”
- ii) ”Um peão, cujas partes por sua coesão são continuamente afastadas de movimentos retilíneos, não cessa sua rotação a não ser quando retardado pelo ar.”
- iii) ”Os corpos maiores dos planetas e cometas, encontrando menos resistência em espaços livres, preservam seus movimentos, tanto progressivo quanto circular, por um tempo muito maior.” (NEWTON, 1999, p.416).

Anteriormente vimos que, apesar da justificativa de Cohen (1999, p.97) para a ênfase dada por Newton ao movimento circular, o enunciado da lei em si fez referência unicamente ao “estado de repouso ou movimento retilíneo uniforme em uma linha reta” de um corpo. Isto significa dizer que, Newton não fez menção

⁴² A força centrípeta relacionar-se-ia diretamente com o “Princípio da Independência dos Movimentos de Galileu”, então conhecido por Newton. Por este princípio, o movimento de um projétil seria um movimento bidimensional, sendo realizado nas direções horizontal e vertical. Este movimento seria composto de dois tipos de movimentos, a saber: a) movimento uniforme na direção horizontal, isto é, para frente, em linha reta e b) movimento uniformemente variado na direção vertical, isto é, para baixo, sofrendo ação da gravidade. Assim, quando um corpo realizasse um movimento composto cada um dos movimentos componentes se realizaria como se os demais não existissem, ou seja, o importante seria a resultante do movimento. Observamos que o movimento na direção horizontal se realizaria uniformemente, como descrito pela Primeira Lei de Newton, independente do movimento na vertical que seria uniformemente variado, como dito pela Segunda Lei de Newton que veremos a seguir.

direta ao movimento circular ao enunciar esta lei - ele o faria posteriormente. Recordamos também que, dentro da visão metafísica de Newton sobre a natureza dos corpos, a *vis inertiae* seria uma das características fundamentais dos corpúsculos rígidos, ou seja, seria uma das coisas que poderíamos saber ou conhecer sobre um corpo, assim questionamos: De que forma esta *vis inertiae* estaria relacionada com o movimento circular?

Parte desta resposta encontra-se na nota 17 deste capítulo e estaria relacionada com o problema dos projéteis de Galileu. Aperfeiçoando as conclusões de seu notável antecessor, para Newton, o movimento circular seria composto de uma componente linear ou tangencial do movimento inercial e uma aceleração interna produzida pela força centrípeta, ou seja, seria um tipo de movimento oriundo da resultante de duas forças⁴³. Mesmo sabendo que a decomposição do movimento circular fosse uma questão relativa a Física matemática, Newton não abriu mão da influência Divina para explicar este movimento e, em carta a Bentley, afirmou que:

(...) embora a gravidade pudesse conferir aos planetas um movimento de queda para o Sol, diretamente ou com uma pequena obliquidade, os movimentos transversos pelos quais eles giram em suas diversas órbitas requeriam a mão de Deus para imprimi-los de acordo com as tangentes de suas órbitas. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.407).

Destarte, foi o próprio Newton que nos esclareceu a sua escolha dos exemplos, dizendo posteriormente, em quase todas as proposições e problemas do Livro I dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* que somente a componente linear ou tangencial do movimento seria relativa à Primeira Lei do Movimento. Novamente, na discussão da seção 4.3.4., para Newton, na “Regra 3”, as características de um corpo como um todo, estavam definidas também nas suas partículas últimas, isto é, se um corpo possuísse extensão, “dureza”, impenetrabilidade e força inercial era porque em suas partículas últimas ele também possuiria tais características.

Portanto, por analogia, Newton nos disse que um corpo em movimento circular giraria, porque suas partículas últimas, “coesas” -- na opinião de Cohen (1999, p.103), pela quantidade acelerativa da força centrípeta -- girariam e só

⁴³ A interessante demonstração geométrica de um movimento oriundo da resultante de duas forças, dada por Newton no “Corolário I” que segue a descrição das três Leis do Movimento, encontra-se no Anexo II.

parariam de girar quando retardadas pelo ar, isto é, quando forçadas a “a mudar aquele estado [de movimento] por forças imprimidas sobre” elas. Deste modo, terminaremos esta breve análise de alguns aspectos da Primeira Lei do Movimento de Newton com uma observação de Julian Barbour:

O jovem Newton parece ter concebido seu movimento [retilíneo uniforme] muito da maneira medieval da teoria do impetus, enquanto que o Newton maduro aproximou-se mais do ponto de vista Cartesiano.... Entretanto, isto [a mudança na metafísica] não alterou nenhuma consequência matemática da teoria de Newton. *As matemáticas – e conseqüentemente o objetivo de seu conteúdo – de uma teoria existente é indiferente à metafísica através da qual ela é interpretada.* (BARBOUR *apud* BRACKENBRIDGE, 2001, p.113).

4.4.2.2

A Segunda Lei do Movimento

“A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.” (NEWTON, 1999, p.416).

Segundo Stein (1970, p.290) e, em parte, Cohen (1970, p.146), a Segunda Lei do Movimento de Newton, em conjunto com a Definição IV, veio tentar por um fim aos problemas deixados em aberto por Descartes em sua Lei III e nas sete regras que a sucederam. Na Lei III e nas sete regras, o filósofo tratava somente do que ocorria no choque entre dois corpos. Quando dois corpos possuíam “estados” de movimento que tenderiam a persistir após o choque -- invocando suas Leis I e II -- Descartes verificou que estes movimentos não persistiam simultaneamente -- haveria uma relação de “perda e ganho” de movimento. Para melhor explicar esta relação de “perda e ganho”, como já vimos anteriormente, Descartes dividiu a “força do corpo em movimento” -- a única força que para ele existiria -- em dois exemplares de forças distintas: “força avante” e “força de resistência”. Mesmo assim, a Física de Descartes não conseguiu responder a contento as seguintes questões⁴⁴: a) como um corpo extenso poderia possuir uma “força”, visto que ele teria como característica fundamental somente a extensão; b) como esta “força”

⁴⁴ Estas questões são os principais frutos de praticamente todas as leituras, de todos os autores listados na Bibliografia, que trataram das disputas entre newtonianos e cartesianos.

interagiria com o fato do corpo tender a permanecer no estado de movimento em que estava e c) como calcular precisamente a “quantidade de movimento” transferida de um corpo para outro.

A fim de respondermos a contento estas questões, inicialmente, definiremos o que seria a “força” para Descartes e para Newton e, a partir destas definições, mostraremos até onde a Segunda Lei do Movimento em conjunto com as Definições III e IV de Newton conseguiram de fato respondê-las. Na próxima seção veremos que, a Terceira Lei do Movimento de Newton também contribuiu para a correção das sete regras de Descartes que regem o impacto entre dois corpos.

De acordo com Gaukroger (1999, p.452), Descartes assumia que a força de um corpo era determinada por aquilo que na mecânica medieval havia sido denominado de *impetus*, ou seja, o produto da massa, no caso “substância extensa”, pela velocidade de um corpo em movimento. Para Cohen (1999, p.154), baseado nos *Estudos Newtonianos* de Koyré, Descartes denominava tal grandeza de *motus* -- movimento -- ou alternativamente de *vis motus* -- força de movimento -- enquanto Newton a havia denominado de *quantitas motus* -- “quantidade de movimento” -- embora, na prática, também a denominasse simplesmente de *motus* - movimento. O postulado metafísico fundamental da concepção de mundo cartesiano, baseado na imutabilidade Divina, estabelecia que em todos os processos materiais a força total de todos os corpos envolvidos era constante. Em termos simbólicos, isso equivalia a afirmar que a variação da “quantidade de movimento”, $m.v$, era constante.

Contudo, sob a luz do que foi discutido até então, teria sido Newton que definiu a “entidade” força conforme nos seria conhecido. Estes experimentos imaginários fundamentaram as seguintes crenças:

- a) Se um corpo estivesse em repouso e quiséssemos colocá-lo em movimento, seria necessária a ação de alguma “coisa” sobre ele;
- b) Se um corpo tivesse sua velocidade aumentada ou diminuída, seria necessária a ação de alguma “coisa” sobre ele;

c) Se um corpo tivesse sua velocidade mudando de direção, seria necessária a ação de alguma “coisa” sobre ele;

Newton chamou de força o agente capaz de modificar o estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme de um corpo, isto é, o agente capaz de romper com o que estava descrito nas Leis I e II de Descartes. Ao analisar esta definição de força sob a luz do mundo físico -- real -- observamos que: os corpos, de uma maneira geral, não estariam sempre em repouso e nunca estariam em movimento retilíneo uniforme, porém, suas velocidades sofreriam alterações, matematicamente mensuráveis, a cada instante. Sendo assim, para o leitor contemporâneo parece conveniente pensar que as variações e velocidade de um corpo seriam uma conseqüência direta da ação de alguma “entidade”. A tal “entidade”, responsável no nosso universo pelas variações de velocidade, era a força newtoniana. Por exemplo: o peso de um corpo seria uma força, pois o peso “puxaria” o corpo para o centro da Terra, colocando-o em movimento; para fecharmos a porta de um carro, seria necessário à aplicação de uma força sobre ela, visto que a tiraríamos do repouso em que se encontrara.

Todavia, acreditamos ser importante esclarecer que a força seria responsável pelas variações de velocidade do corpo, mas a velocidade do corpo em um instante qualquer, não teria uma dependência funcional das forças que estivessem agindo sobre ele naquele instante. Por exemplo: imaginemos uma pedra sendo largada do alto de um edifício de **20 m**. Chamaremos de ponto **A**, o ponto onde a pedra estaria em nossas mãos, pronta para ser largada e de ponto **B**, o ponto situado a **1 m** antes da pedra atingir o solo. A velocidade da pedra no ponto **A**, chamaremos de v e a velocidade da pedra no ponto **B**, chamaremos de v_1 . v será menor que v_1 , $v < v_1$, visto que no ponto **A**, a pedra ainda não se encontrava em movimento, porém a força que atuaria sobre a pedra nos pontos **A** e **B** seria a mesma: o seu próprio peso. Assim, a principal fonte das dificuldades encontradas na compreensão da mecânica racional newtoniana proveria do desacordo entre a intuição, que mostraria a velocidade como função da força e a experiência que mostraria exatamente o contrário. De acordo com Hall e Hall:

Não há dúvida: para Newton, a ciência se deslocava para um novo patamar de certeza, ao passar do estado não matemático das hipóteses múltiplas de primeira ordem [Leis do Movimento de Descartes] para o estado matemático das

explicações únicas de segunda ordem, em termos de forças. (HALL & HALL, 2002, P.112).

Agora, sob a luz do conceito newtoniano de força, poderemos responder as duas primeiras questões que consideramos deixadas em aberto por Descartes:

a) Como um corpo extenso possuiria uma “força” conforme definida por Newton? De acordo com a metafísica de Newton, o corpo possuiria uma força, no mesmo sentido que, para Descartes, ele possuiria uma extensão. Restringindo-nos a “Filosofia Mecânica” tradicional, isto é, sem prever as forças de ação à distancia, o corpo “causaria” ou “sofria” a ação de uma força, que seria uma “entidade” -- “ser da coisa” -- capaz de romper com o estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme de um corpo - capaz de alterar a velocidade de um corpo. Este rompimento se daria pelo contato direto entre o corpo “causador” e o corpo “sofredor”. Vimos anteriormente que, para Newton, Deus havia imposto a estes corpos, “causadores” e “sofredores” de ações, não somente a extensão, como acreditava Descartes, mas também a “dureza”, a impenetrabilidade e a força inercial, regidas pela Primeira Lei do Movimento. Deste modo, concluímos que, o primeiro equívoco de Descartes foi se ater somente à extensão como a única coisa “verdadeira” que existiria nos corpos. O segundo, foi não considerar a possibilidade da existência de forças que agissem à distancia e continuar preso a uma “Filosofia Mecânica” tradicional⁴⁵.

b) Como esta “força” interagiria com o fato do corpo tender a permanecer no estado de movimento em que estava? Infelizmente, Descartes não foi capaz de perceber que no choque entre dois corpos, para haver mudança de velocidade -- para mais ou para menos -- ou mudança de direção, era necessária a ação de alguma “coisa”. Esta “coisa”, quando responsável pela manutenção do repouso ou do movimento retilíneo uniforme, foi chamada por Newton de força inercial e quando responsável pela alteração do repouso ou do movimento retilíneo uniforme foi chamada de força imprimida. Não importaria se esta força fosse de impulso, instantânea ou contínua: todas elas interagiriam com o corpo de forma a alterar seu estado de repouso ou de movimento.

⁴⁵ Este segundo equívoco se aplicaria mais aos cartesianos que ao próprio Descartes.

Empiricamente falando, nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton deixou claro que uma força seja ela de percussão, ação ou centrípeta, só ficaria completamente caracterizada se conhecermos seu valor numérico, seu sentido e sua direção. Assim, Newton, representou a força resultante que age sobre um corpo como a diagonal de um paralelogramo⁴⁶. Em termos gerais, uma força poderia ser adequadamente representada como um segmento de reta, traçado de maneira que: a) seu comprimento indicasse o valor numérico da força e b) sua direção e sentido indicassem a direção e o sentido da força, conforme “regra do paralelogramo”.

Finalmente, poderemos responder a última questão que consideramos deixada em aberto por Descartes:

c) Como calcular precisamente a “quantidade de movimento” transferida de um corpo para outro? Como não foram encontradas evidências que Descartes tivesse estabelecido as sete regras do impacto a partir de um experimento real, tanto Garber (1995, p.254) quanto Gaukroger (1999, p.453-454), sugeriram que Descartes teria se utilizado de mais um experimento imaginário na formulação destas regras. Isto significa dizer que, Descartes nunca teria efetivamente atirado uma bola contra outra para observar o que aconteceria com elas. Assim, baseado somente em sua intuição matemática e geométrica, Descartes objetivando explicar as variações da “quantidade de movimento”, dividiu a força de movimento em duas componentes: a primeira que faria com que uma das bolas “avançasse” sobre a outra e a segunda que faria com que a uma das bolas “resistisse” ao “avanço” da outra. Este “jogo” de “avançar” e “resistir” foi chamado por Newton de “ação” de uma força. Esta “ação” causaria variação da velocidade do corpo e através da representação adequada desta força -- em módulo, direção e sentido -- seria possível precisar a “quantidade de movimento” transferida de um corpo para outro.

⁴⁶ Ver Anexo II.

Concluindo a discussão sobre as questões que consideramos mal resolvidas por Descartes, no “Corolário 6” e no “Escólio” que sucede a descrição das Leis do Movimento dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, Newton descreveu uma série de experimentos relacionados ao choque entre dois corpos, semelhantes as sete regras cartesianas. As diferenças entre os resultados obtidos por Newton e Descartes foram enormes. Primeiro, os resultados obtidos por Descartes estavam quase todos errados -- com exceção da “Regra 1” -- pois como dissemos anteriormente, seria provável que Descartes não tivesse realizado empiricamente o choque entre duas bolas. Segundo, enquanto Newton estabeleceu uma distinção entre o que seria um “choque-elástico” e um “choque-não elástico”, Descartes se ateuve somente às forças de “avante” e de “resistência”. Destarte, segue o “Corolário 6” nas palavras de Newton:

Se corpos movidos de algum modo entre si são impelidos na direção de linhas paralelas por forças acelerativas iguais, todos eles continuarão a se moverem entre si do mesmo modo, como se não tivessem sido impelidos por aquelas forças.

Pois essas forças agindo igualmente (com respeito às quantidades dos corpos a serem movidos), e na direção de linhas paralelas, moverão (pela Lei II) todos os corpos igualmente (com respeito à velocidade), e assim, nunca produzirão qualquer mudança nas posições ou movimentos dos corpos em si. (NEWTON, 1999, p.423).

Uma vez estabelecida a relação entre a Segunda Lei do Movimento de Newton e as questões deixadas em aberto por Descartes, continuaremos nossa análise desta lei objetivando compreender melhor a relação entre as forças -- percussão, pressão e centrípeta -- e a variação da “quantidade de movimento”, de acordo com o próprio enunciado desta lei. Basicamente, exploraremos a relação entre as forças e a variação de velocidade, relação esta já mencionada nos parágrafos anteriores.

Segundo Cohen (1970, p.144), a princípio, Newton ao enunciar a Segunda Lei do Movimento, teve como objetivo maior estabelecer uma relação “forte” entre a força de pressão/percussão e a alteração da “quantidade de movimento”. Para o comentador, a relação dessa lei com a força centrípeta não foi explicitada por Newton, pelo menos não neste primeiro momento. Assim, no parágrafo redigido por Newton após o enunciado desta lei, já citada na Definição IV, ficou claramente instituída a relação “forte” entre as forças de percussão/pressão e a “quantidade de movimento”, porém não foi feita menção alguma a força centrípeta.

Apesar desta evidência, Newton na Segunda Lei do Movimento, não poderia ter deixado de lado as forças contínuas, visto que nas Definições VI, VII e VIII -- discutidas na seção 4.4.1. -- já haveria indícios de uma relação das quantidades absoluta, acelerativa e motora da força centrípeta com a “quantidade de movimento” em si. A certeza manifesta dessa hipótese defendida por Cohen (1999, p.111) e Stein (1970, p.290), encontra-se na “Proposição 24”, “Teorema 19”, do Livro II, dos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, onde Newton nos disse que:

A velocidade que uma dada força pode gerar num dado tempo numa dada quantidade de matéria está para a força e para o tempo diretamente e para a matéria inversamente. Quanto maior for a força, ou quanto maior for o tempo [de duração da força sobre a massa], ou quanto menor for a matéria, maior a velocidade que será gerada. Isto será expresso a partir da segunda lei do movimento. (NEWTON, 1999, p.700).

No quadro comparativo das principais forças newtonianas -- exibido na seção 4.4.1. -- estabelecemos uma relação entre a força centrípeta -- a principal força contínua -- e o tempo: as forças contínuas seriam as únicas forças cujo tempo de ação seria claramente perceptível. Na proposição citada acima, Newton nos diz que a intensidade da força descrita na Segunda Lei do Movimento também dependeria do tempo, ou melhor, de um tempo contínuo. Assim, a força centrípeta presente no movimento planetário como um todo, seria também contemplada pelas relações estabelecidas nessa lei.

Por último, a análise historiográfica de Cohen (2002, p.67) mostrou que, de acordo com a visão de Newton, a ênfase dada à ação das forças de impacto na Segunda Lei do Movimento não prejudicou em nada a aplicação desta lei à ação das forças contínuas. E teria sido por esta razão que Newton não teria se preocupado em redefinir ou separar essa lei em itens distintos para forças de impacto e para forças contínuas. Nas palavras de Cohen: “(...) a distinção entre as duas formas [para forças de impacto e para forças contínuas] da lei [II] é mais significativa para nós do que teria sido para Newton.” (COHEN, 2002, p.68).

4.4.2.3

A Terceira Lei do Movimento

“A toda ação há sempre uma reação igual, ou as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.” (NEWTON, 1999, p.417).

Na opinião de Mach, a Terceira Lei do Movimento newtoniano foi: “o mais importante empreendimento de Newton a respeito dos princípios [da mecânica racional].” (MACH *apud* COHEN, 1999, p.117). O filósofo teria chegado a esta conclusão devido à: a) esta lei estabelece um equilíbrio entre forças de ação e reação, que na linguagem cartesiana poderia ser traduzida pelas forças “avante” e de “resistência”; b) para estabelecer esta lei Newton não se utilizou dos conceitos pré-estabelecidos por Galileu e c) não havia indícios de nenhuma “inspiração cartesiana” no enunciado desta lei, ou seja: teria sido esta, sem dúvida, a idéia mais original de Newton. Já para Cohen (1999, p.116), ao formular esta lei, Newton teria se inspirado nos resultados obtidos com os experimentos de choque entre dois corpos, também realizado, mesmo que mentalmente, por Descartes. Lembramos que foram estes resultados que levaram a distinção entre forças elásticas e não-elásticas.

Cohen (1999, pp.117-118), continuaria a análise desta lei mostrando porque ela seria fonte de alguns equívocos interpretativos, mesmo nos dias de hoje. Em um primeiro momento poderíamos acreditar que esta lei formalizaria o equilíbrio entre duas forças, visto que Newton disse que “há sempre uma reação igual (...) dirigidas a partes opostas”. Porém, esta lei de fato dizia que caso um corpo **A** exercesse uma força F_A em um corpo **B**, o corpo **B** exerceria uma força igual e contrária, F_B no corpo **A**. Sendo assim, o equilíbrio de forças imaginado anteriormente jamais poderia existir, pois os corpos onde as forças estariam agindo seriam diferentes. Não seria possível estabelecer uma condição de equilíbrio de forças em corpos distintos. O equilíbrio de forças seria aplicável a um mesmo corpo. Deste modo, Newton, no parágrafo que sucedeu o enunciado dessa lei, esclareceu:

Seja o que for que empurre ou puxe algo, é do mesmo modo, puxado ou empurrado por ele. Se você empurra uma pedra com seu dedo, o dedo é também empurrado pela pedra. Se um cavalo puxa uma pedra amarrada a uma corda, o cavalo (assim falando) vai ser do mesmo modo puxado de volta na direção da pedra, pois a corda distendida, pela mesma tendência de relaxar-se ou desenrolar-se, puxará o cavalo, (...). Se um corpo se choca com outro, e pela sua força muda o movimento desse, aquele corpo do mesmo modo (devido à pressão mútua) sofrerá uma mudança igual no seu próprio movimento, em direção à parte contrária. As mudanças feitas por essa ação são iguais não nas velocidades, mas nos movimentos dos corpos; quer dizer, se os corpos não forem obstruídos por quaisquer outros impedimentos. Pois, porque os movimentos são igualmente alterados, as mudanças de velocidades feitas em direções a partes contrárias são inversamente proporcionais aos corpos. Essa lei também ocorre em atrações, (...). (NEWTON, 1999, p.417).

Newton deixou claro que se você empurra uma pedra com seu dedo, seu dedo será simultaneamente empurrado pela pedra com a mesma força - em módulo e direção, mas com sentido oposto. Porém, a pedra seria um corpo e o dedo outro corpo. Então, não haveria o equilíbrio que o enunciado da lei, enganosamente pudesse ter sugerido haver.

Continuando nossa análise, mesmo que Newton tenha dado ênfase à aplicação desta lei ao problema das colisões entre corpos e aplicações de forças elásticas e não-elásticas, a Terceira Lei do Movimento, da forma que foi postulada, não especificou que para haver uma ação ou uma reação seria necessário haver um contato entre os corpos. Assim sendo, Newton aplicou esta lei as “atrações” -- forma pela qual o filósofo costumava se referir à ação das forças não abrangidas pela “Filosofia Mecânica” em sua forma original -- e exemplificou:

Suponho que um obstáculo é colocado de modo a evitar o encontro de quaisquer corpos A, B que se atraem mutuamente. Então, se qualquer corpo, tal como A, é mais atraído na direção do outro corpo B, do que o outro corpo B o é na direção do primeiro corpo A, o obstáculo será mais fortemente empurrado pela pressão do corpo A do que pela pressão do corpo B e, portanto, não permanecerá em equilíbrio; mas a pressão mais intensa prevalecerá e fará o sistema dos dois corpos, juntamente com o obstáculo, se mover diretamente para onde B se encontra; e em espaços livres, os fará ir para frente *in infinitum* com um movimento continuamente acelerado, o que é absurdo e contrário à primeira Lei. Pois, pela primeira Lei, o sistema deve continuar em seu estado de repouso, ou movimento uniforme em linha reta; e assim conclui-se que os corpos devem pressionar igualmente o obstáculo, e ser igualmente atraídos um pelo outro. Fiz a experiência com magnetita e ferro. Se estes, colocados separadamente em recipientes adequados, flutuam um próximo ao outro, em água parada, nenhum deles lançará o outro; mas, por serem igualmente atraídos, suportarão a pressão um do outro, e finalmente repousarão em equilíbrio. Assim, a gravitação entre a Terra e as suas partes é mútua. (NEWTON, 1999, p.427-428).

Newton, neste “Escólio”, afirmou que existiria uma interação única como sendo a forma pela qual a força centrípeta agiria na natureza. Stein (2002, p.289), voltaria a falar em termos de “campos” que significaria dizer que todos os corpos seriam suscetíveis as ações dessa interação: eles seriam as fontes deste “campo”. Entretanto, preferimos não nos aprofundar neste viés de argumentação, pois para Newton uma ação à distancia não teria a conotação precisa de um “campo”. De acordo com Newton, os corpos que não estavam em contato direto com outros poderiam produzir “algo” e este algo, em contato com outros corpos, produziriam uma ação. Este “algo” seria para Newton a ação da força centrípeta e para nós, contemporaneamente, a nível de efeito percebido, seria o “campo gravitacional”, porém a constituição primeira deste “algo”, isto é, sua natureza, não foi explicada por Newton. Em suas próprias palavras: “Eu ainda não determinei as causas da Gravidade.” (NEWTON, 1999, p.943). Mesmo assim, Newton esclareceu com precisão como funcionaria este “algo”:

Desde que a ação da força centrípeta sobre um corpo atraído é, a distâncias iguais, proporcional à matéria desse corpo, concorda-se com razão que ela também deva ser proporcional à matéria do corpo atraído. Como a ação é mútua e (pela Terceira Lei do Movimento) faz com que os corpos se aproximem uns dos outros através de uma tendência mútua, ela deve estar em conformação consigo mesma em cada corpo. Um corpo pode ser considerado como atraindo, e outro, como atraído; mas essa distinção é mais matemática que natural. A atração realmente é de cada corpo em direção a outro (...). E, conseqüentemente, é essa força atrativa que se encontra em cada [corpo]. O Sol atrai Júpiter e outros planetas, Júpiter atrai os satélites, e (...) os Satélites agem entre eles mesmos reciprocamente e sobre Júpiter, e todos os planetas mutuamente entre eles. E embora as ações mútuas de dois planetas possam ser distintas umas das outras, e consideradas como duas ações, através da qual cada uma atrai a outra: ainda que sejam [ações] intermediárias, elas não são duas, mas uma só operação entre dois termos. (...) a ação é igualmente o dobro à medida que ela está sobre dois corpos, mas, quando estiver entre dois corpos, ela será exclusiva e única. Não é uma operação através da qual o Sol, por exemplo, atrai Júpiter, e outra operação pela qual Júpiter atrai o Sol, mas é uma operação pela qual o Sol e Júpiter mutuamente se empenham em aproximar-se um do outro. Através da ação pela qual o Sol atrai Júpiter, Júpiter e o Sol se empenham em aproximar-se (através da Terceira Lei do Movimento) (...), mas o Sol não é atraído em direção a Júpiter devido a uma ação dupla, nem Júpiter é atraído em direção ao Sol por uma ação dupla, mas é uma ação intermediária pela qual ambos se aproximam juntos. (NEWTON *apud* STEIN, 2002, p.288).

Concluindo este capítulo, sob a luz da metafísica newtoniana, as afirmações trazidas à tona na citação anterior implicariam que, logo após a criação dos corpos, ou simplesmente na constituição do corpo -- na natureza -- Deus deve ter imposto a estes corpos não somente a extensão, a “dureza”, a impenetrabilidade, a

força inercial e as Leis do Movimento apropriadas -- conforme vimos nas seções anteriores -- mas também suas próprias maneiras de interagirem uns com os outros, com suas próprias leis, que caracterizariam, contemporaneamente falando, as “forças de interação”, o “algo” do século XVII. Estas forças seriam do tipo que descrevemos anteriormente como, por exemplo, a força centrípeta, e cujas origens poderiam se tornar uma tarefa a ser desvendada pela Filosofia. Segundo Newton:

Visto que estas forças são desconhecidas, os filósofos têm até então testado a natureza em vão. Mas eu espero que os princípios aqui [nos *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*] colocados forneçam alguma luz ou mais verdade ao método da Filosofia. (NEWTON, 1999, p.383).

Assim, voltamos a questão que teria perseguido Newton até a sua morte - mesmo que ele algumas vezes, pragmaticamente, deixasse a cabo de seus leitores respondê-la: Como explicar o porquê e não o como das forças que agem à distância? E é o próprio Newton que esclareceu em duas citações distintas:

Que a gravidade seja inata, inerente e essencial à matéria, para que um corpo possa agir sobre outro à distância através do vazio, sem a mediação de outra coisa pela e através da qual a ação ou força deles possa ser transmitida de um para outro, é para mim um absurdo tão grande, que creio que nenhum homem que tenha uma faculdade competente de raciocínio em questões filosóficas possa jamais incorrer nele. A gravidade deve ser causada por um agente que aja constantemente de acordo com certas leis, mas, se esse agente é material ou imaterial, é uma questão que deixo a critério de meus leitores. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.408-409).

(...) nós explicamos o fenômeno dos céus e do nosso mar através do poder da gravidade, mas não temos ainda a causa de seu poder apontada. É certo que a gravidade deve proceder de uma causa que penetra fundo no centro do Sol e dos planetas, sem sofrer um mínimo de diminuição dessa força (...). Eu não tenho condições de descobrir essas propriedades da gravidade como fenômeno e não invento hipóteses. Como tudo aquilo que não é dedutível de um fenômeno, isto é então chamado de hipótese; e hipóteses, se metafísicas ou físicas, se qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na Filosofia experimental. (NEWTON, 1999, p.943).

Antes de escrever o “Escólio Geral”, de onde o trecho acima foi retirado, Newton escreveu a Bentley que:

(...) as rotações diurnas do Sol e dos planetas, como dificilmente poderiam decorrer de uma causa puramente mecânica, parecem, por serem todas determinadas da mesma maneira, com movimentos anuais e mensais, compor a harmonia do sistema, que (...) foi feito de uma escolha [Divina] e não do acaso. (NEWTON *apud* COHEN & WESTFALL, 2002, p.404).

e Hall e Hall comentaram exaustivamente o “Escólio Geral” e os esforços de Newton no sentido de explicar o porquê da gravidade:

Newton tentou repetidamente convencer-se de que havia provas experimentais suficientes para proporcionar uma base sólida a uma teoria definitiva, e repetidamente ficou claro que não havia. Só assim se pode explicar porque ele tentou continuamente escrever seu juízo abalizado sobre esse problema para publicação, e em todas essas ocasiões, (...), nunca arriscou mais que um palpite. (HALL & HALL, 2002, 102).

Infelizmente, Newton morreria antes de conseguir explicar a contento a origem física da força gravitacional. Como causa primeira -- sua explicação metafísica -- Deus seria o responsável por esta curiosidade da natureza: um corpo agir sobre outro, instantaneamente, sem contato algum. E como vimos ao longo deste capítulo, para o filósofo, não nos caberia confrontá-Lo ou contestá-Lo. Deus era inquestionável. Seria esta uma boa explicação metafísica para a questão?

Porém, para aqueles que como nós admiramos profundamente o trabalho de Newton, este fato não constituiria sequer uma irrisória mancha em sua obra, muito pelo contrário. Newton deixaria em aberto um legado em forma de questão que já atravessou três séculos e que, muito provavelmente, ainda ficará sem uma resposta plausível por muito tempo. Inúmeras tentativas de explicar a ação à distancia, ou melhor, a gravidade, física e/ou metafisicamente, foram, são e serão feitas até que um dia, definitivamente alguém aclarará este fenômeno aparentemente tão banal e insignificante de nosso dia a dia.