

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA

EVALDO PEREIRA DE REZENDE

A noção de inércia em Galileu Galilei

Brasília

2018

EVALDO PEREIRA DE REZENDE

A noção de inércia em Galileu Galilei

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Filosofia da Universidade de Brasília, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Filosofia.

Linha de Pesquisa: Epistemologia, Lógica e Metafísica.

Orientador: Prof. Dr. Samuel José Simon Rodrigues.

Brasília

2018

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

PR467n Pereira de Rezende, Evaldo
 A noção de inércia em Galileu Galilei / Evaldo Pereira
 de Rezende; orientador Samuel José Simon Rodrigues. --
 Brasília, 2018.
 153 p.

 Dissertação (Mestrado - Mestrado em Filosofia) --
 Universidade de Brasília, 2018.

 1. Inércia. 2. Galileu. 3. Ciência. 4. Movimento. I.
 José Simon Rodrigues, Samuel, orient. II. Título.

Nome: REZENDE, Evaldo Pereira de
Título: A noção de inércia em Galileu Galilei

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *strictu sensu* em Filosofia da Universidade de Brasília, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Filosofia.

Linha de Pesquisa: Epistemologia, Lógica e Metafísica.

Aprovada em

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Samuel José Simon Rodrigues
Programa de Pós-Graduação em Filosofia – PPG-FIL/UnB
Orientador

Prof. Dr. Agnaldo Cuoco Portugal
Programa de Pós-Graduação em Filosofia – PPG-FIL/UnB
Membro da Banca Examinadora

Prof. Dr. Antony Polito
Instituto de Física – UnB
Membro da Banca Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Freire
Programa de Pós-Graduação em Filosofia – PPG-FIL/UnB
Membro da Banca Examinadora
Suplente

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Ana Pereira de Rezende (*in memoriam*),
pelo essencial apoio durante todo o meu percurso
acadêmico e incentivo ao meu progresso.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade de Brasília, pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Antony Polito, do Instituto de Física – UnB; e à Prof.^a Dra. Benedetta Bisol, do Programa de Pós-Graduação em Filosofia – PPG-FIL/UnB, pelas importantes observações e sugestões para o aprimoramento do trabalho, realizadas na ocasião do Exame de Qualificação.

E um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Dr. Samuel José Simon Rodrigues, cujo empenho e ensinamentos foram essenciais para que essa pesquisa pudesse ser desenvolvida e constantemente aperfeiçoada.

RESUMO

O presente trabalho visa analisar o desenvolvimento da noção de inércia em Galileu, tratando-se, portanto, de uma investigação que remonta às origens históricas para, então, realizar análises filosóficas. Dessa maneira, busca-se compreender as concepções aristotélicas acerca do movimento, imprescindíveis para que se possa refletir sobre a relação entre movimento e causalidade. Na sequência, procura-se apresentar os principais pensadores posteriores a Aristóteles cujas ideias contribuíram para o desenvolvimento científico que possibilitou a revolução copernicana e, conseqüentemente, a concepção galileana de inércia. Os escritos principais de Galileu são analisados, nomeadamente o *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo* e os *Discorsi*, obras nas quais o pesquisador italiano desenvolve de forma mais acurada a sua visão concernente ao movimento inercial. Por fim, apresenta-se uma discussão contemporânea relativa ao tema, a saber, se Galileu teria defendido uma inércia linear ou circular.

Palavras-chave: Inércia, Galileu, Ciência, Movimento.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the development of the notion of inertia in Galileo, dealing, therefore, with a investigation that goes back to historical origins to then carry out philosophical analysis. In this way, it seeks out to understand the Aristotelian conceptions concerning movement, which are indispensable so that we can reflect about the relationship between movement and causality. In the sequence, one looks for to present the main thinkers later to Aristotle whose ideas contributed for the scientific development that made possible the Copernican revolution and, consequently, the Galilean conception of inertia. We analyze the main writings of Galileo, namely the *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* and the *Discorsi*, works in which the Italian researcher develops more accurately his vision concerning the inertial movement. Lastly, it presents a contemporary discussion on the subject, namely whether Galileo would have defended a linear or a conception of circular inertia.

Keywords: Inertia, Galileo, Science, Movement.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
------------------------	-----------

CAPÍTULO 1. O PROGRESSO DA NOÇÃO DE MOVIMENTO ANTERIOR A GALILEU.....	12
--	-----------

1.1	Princípios internos do movimento na concepção aristotélica.....	12
1.2	A noção aristotélica de movimento.....	16
1.3	Cosmologia de Aristóteles: mundo sublunar e supralunar.....	19
1.4	Movimentos retilíneo, circular, natural e não natural.....	21
1.5	Movimento, repouso e causalidade.....	24
1.6	O movimento do projétil e a impossibilidade do vazio.....	30
1.7	Primeiras críticas à dinâmica aristotélica: Hiparco.....	32
1.8	Crítica de Filopono à dinâmica aristotélica.....	34
1.9	A questão do movimento segundo Thomas Bradwardine.....	37
1.10	Jean Buridan.....	42
1.11	Nicolas Oresme e a defesa do movimento da Terra.....	46

CAPÍTULO 2. O DESENVOLVIMENTO DA NOÇÃO DE INÉRCIA NO PERÍODO GALILEANO.....	50
--	-----------

2.1	A revolução científica.....	50
2.2	Concepções copernicanas acerca do movimento terrestre.....	53
2.3	Giordano Bruno e a infinitude do mundo.....	61
2.4	A formação inicial de Galileu.....	64
2.5	As mecânicas (<i>Le meccaniche</i>).....	67
2.6	Adesão de Galileu ao copernicanismo.....	70
2.7	Kepler e a criação do termo <i>inércia</i>	79
2.8	Cartas sobre as manchas solares, de 1613.....	84
2.9	Carta de Galileu Galilei a Francesco Ingoli, de 1624.....	87
2.10	<i>Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo</i> , de 1632.....	92
2.11	Duas novas ciências (<i>Discorsi</i>), de 1638.....	107
2.12	Gassendi e a realização do experimento da torre.....	114

CAPÍTULO 3. DISCUSSÕES ATUAIS ACERCA DA INÉRCIA GALILEANA E SUA RELAÇÃO COM A CAUSALIDADE.....	120
3.1 Introdução ao debate: inércia circular ou retilínea?.....	120
3.2 Inércia circular.....	121
3.3 Inércia retilínea.....	132
3.4 Inércia e a questão da causalidade.....	141
CONCLUSÃO.....	146
REFERÊNCIAS.....	149

INTRODUÇÃO

Essa pesquisa visa analisar a noção de inércia em Galileu e, para tanto, optou-se por abordar o problema do movimento a partir de uma perspectiva histórico-filosófica, considerando-se a tradição de pensamento através da qual se tornou possível o desenvolvimento da noção de inércia na física clássica moderna. Por isso, o Capítulo 1 inicia-se com uma exposição acerca da filosofia da natureza de Aristóteles, nomeadamente no que concerne às concepções desse pensador sobre o movimento (entendido como translação ou deslocamento), relacionadas com a questão da causa; e prossegue com a apresentação da crítica de Hiparco à dinâmica aristotélica, seguida pelas discussões medievais a respeito do tema, a partir de autores como Filopono, Bradwardine, Buridan e Oresme.

O Capítulo 2 é dedicado à exposição de como ocorreu o desenvolvimento da noção de inércia na época galileana, sendo esta compreendida no contexto da revolução científica. Após uma breve introdução acerca desse período, expõe-se a visão copernicana sobre o movimento da Terra (que motivou Galileu a defendê-la dos ataques dos aristotélicos, o que culminou com a noção galileana de inércia), e depois a tese de Giordano Bruno a respeito da infinitude do mundo. Os tópicos seguintes mostram como Galileu tornou-se copernicano, fazendo-se ainda uma breve introdução ao pensamento de Kepler, importante por ter sido o primeiro a utilizar o termo “inércia” na física. Ademais, ver-se-á porque o estudo dos textos de Aristóteles é essencial para compreender Galileu, pois este recorre incessantemente às ideias do Estagirita e, inclusive, torna um dos personagens do *Diálogo* e do *Discorsi* um porta-voz do aristotelismo. Trata-se de Simplício, debatedor apegado à autoridade dos antigos, enquanto Galileu encontra-se representado por Salviati, que audaciosamente conduz o interlocutor a contradizer-se, ao tempo em que responde as indagações de Sagredo, sempre aberto às novas ideias científicas. Por fim, apresenta-se a contribuição de Gassendi para o estudo do movimento inercial. Em suma, o Capítulo 2 mostra como Galileu aproximou-se da noção clássica de inércia, embora não tenha enunciado-a com toda a generalidade, como o fizeram Descartes e Newton anos depois.

Na sequência, o Capítulo 3 é dedicado a uma discussão contemporânea entre alguns estudiosos de Galileu, que tentam interpretá-lo com o intuito de saber se o

cientista teria defendido uma inércia circular ou retilínea. Além disso, tentar-se-á examinar se a questão da inércia em Galileu está relacionada com a defesa da estrutura matemática do mundo por parte do cientista. Para isso, examinar-se-ão os trabalhos de Évora, Drake, Geymonat e Vasconcelos, dentre outros, sobre o debate “inércia” circular e inércia retilínea. Concluindo, analisar-se-ão as possíveis conexões entre a inércia e o tema da causalidade.

CAPÍTULO 1. O PROGRESSO DA NOÇÃO DE MOVIMENTO ANTERIOR A GALILEU

1.1 Princípios internos do movimento na concepção aristotélica

A noção de inércia presente na mecânica clássica resultou de um longo processo reflexivo acerca do movimento, iniciado na Antiguidade, nomeadamente com Aristóteles. Por isso, a reflexão acerca de como ocorreu o desenvolvimento da noção galileana de inércia perpassa necessariamente pela análise da filosofia da natureza do Estagirita, intrinsecamente ligada à concepção deste a respeito do movimento, crucial para entender diversos aspectos da filosofia aristotélica, especialmente no que concerne à física. Tal afirmação pode ser corroborada pelo fato de que no Livro I da *Física*, principal obra de Aristóteles sobre o assunto, o filósofo discute acerca dos princípios¹ internos do movimento, sugerindo assim a importância do tema para o desenvolvimento de suas ideias. Porém, antes de chegar a esse ponto, Aristóteles procura compreender no que consistem tais princípios, analisando, por exemplo, se existe apenas um princípio, um número limitado ou então uma quantidade ilimitada destes (ARISTÓTELES, 2009, p. 24, *Física*, 184b15). Ele admite a segunda hipótese como verdadeira, ou seja, a de que existe um número limitado de princípios, chegando a tal conclusão ao refletir acerca dos contrários, conforme pode ser observado na seguinte passagem:

[...] tudo que vem a ser provém dos contrários, bem como tudo que se corrompe se corrompe nos contrários (e em seus intermediários). E os intermediários provém dos contrários, por exemplo: as cores² provém do branco e do negro; de modo que tudo que vem a ser por natureza é contrário ou provém de contrários (*ibid.*, p. 32-33, 188b21).

¹ A discussão acerca do princípio das coisas remete ao Livro V da *Metafísica*, no qual Aristóteles apresenta os significados de princípio (*arkhe*), causa (*aition*) e elemento (*stoikheion*), nos capítulos 1, 2 e 3, respectivamente. Esses três termos estão inter-relacionados, uma vez que “todas as causas são princípios” (ARISTÓTELES, 2012, p. 132, 1013a17). Para o Estagirita, o princípio pode ser entendido como o ponto a partir do qual algo pode empreender seu primeiro movimento (*ibid.*, p. 131, 1012b34), podendo então ser associado à causa, e também à natureza (*physis*) e elemento (*stoikheion*) de alguma coisa. Nas palavras de Aristóteles, “a natureza [de uma coisa] é um princípio, o sendo também o elemento [de uma coisa], bem como [...] a causa final” (*ibid.*, p. 132, 1013a20). Assim, tanto a causa (*aition*), entendida como sendo “aquilo em função de cuja presença alguma coisa vem a ser” (*ibid.*, p. 132, 1013a 24) quanto o elemento (*stoikheion*), por sua vez considerado como “o componente imanente primordial, numa coisa, o qual é indivisível como espécie em outras espécies” (*ibid.*, p. 135, 1014a26), são princípios, de acordo com o Estagirita. Contudo, com o intuito de evitar ambivalências no que concerne ao uso da palavra “princípio” nessa passagem e nas seguintes, esclarece-se que o termo está sendo pensado como *arkhe*, algo primitivo, originário; e não como *stoikheion*, ou seja, como um elemento constitutivo e material.

² As cores são elementos da categoria *qualidade*. Ver nota de rodapé 8 (p. 17).

Admitindo que tudo que existe provém de alguma coisa, de algum contrário, deve-se admitir que exista um primeiro princípio, do qual as demais coisas derivam. Contudo, considerando-se que as coisas são contrárias entre si, elas devem remeter a certos “contrários primeiros”, que “por serem primeiros, não provêm de outras coisas; por serem contrários, não provêm uns dos outros” (*ibid.*, p. 32, 188a26). Depreende-se daqui que não poderia haver um princípio primeiro, do qual tudo proviria, pois sendo as coisas contrárias, elas não poderiam se originar de um princípio único, mas sim de princípios contrários. Por essa razão, Aristóteles defende a existência de mais de um princípio, sendo “preciso que os princípios sejam contrários” (*ibid.*, p. 33, 189a9).

No Capítulo 6 do Livro I da *Física*, Aristóteles explica porque não é possível a existência de um número ilimitado de princípios, questionando qual seria a quantidade destes, conforme o trecho abaixo:

O ponto seguinte é dizer se os princípios são dois, três ou em maior número. Não é possível que o princípio seja um só, visto que os contrários não são um só. Tampouco é possível que os princípios sejam ilimitados, visto que, neste caso, o ente não seria cognoscível [...] e porque é possível explicar os entes por princípios limitados, e é melhor explicá-los por princípios limitados do que por ilimitados (*ibid.*, p. 33, 189a11).

Logo após identificar o problema, Aristóteles já se encaminha para a solução, afirmando que como os princípios “são limitados, há alguma razão em não fazê-los apenas dois, pois [...] a amizade não agrega o ódio nem faz algo dele, tampouco o ódio faz algo dela, mas ambos agem sobre um terceiro item distinto” (*ibid.*, p. 34, 189a20). Essa passagem é muito importante para a discussão sobre a quantidade de princípios, uma vez que indica como se dará o debate. Nela, Aristóteles defende que um contrário não age diretamente sobre outro contrário, exemplificando ao dizer que nem a amizade e nem o ódio podem atuar sobre o outro, mas apenas sobre um terceiro elemento. Tal ideia é explicada por Allan, que diz:

Toda a mudança ocorre nos limites de um par de contrários, tais como o quente e o frio. Além disso, tem de existir um terceiro elemento, o *sujeito* da mudança, pois não se dá o caso de um dos contrários actuar directamente sobre o outro; não é, por exemplo, o frio que se transforma em calor, mas a água, que antes estava fria que se transforma em água quente. (ALLAN, 1983, p. 39, grifo do autor).

Esse “sujeito da mudança” a que Allan se refere consiste no que Aristóteles chamou de *subjacente*, um princípio através do qual se pode explicar a mudança juntamente com os outros dois princípios já apresentados, a saber, o par de contrários que consiste em tudo o que *vem a ser* na natureza (ARISTÓTELES, 2009, p. 33, Física, 188b21), sendo que quando aquilo que se origina não é um contrário (como seria o caso se a cor branca viesse a ser negra), é um intermediário desses contrários (a cor azul, por exemplo). Um contrário não pode transformar-se no seu oposto (de modo que o branco não pode virar negro), mas apenas agir sobre um terceiro, o *subjacente* dessa mudança. Nas palavras de Aristóteles,

“todos de fato configuram esse subjacente único com os contrários: com densidade e rareza, com o mais e o menos. É evidente que esses contrários são, em geral, excesso e falta, como foi dito antes. Também parece ser antiga esta opinião, a de que o um, excesso e falta são princípios dos entes” (*ibid.*, p. 34, 189b8).

Nessa passagem, temos uma síntese da concepção aristotélica acerca dos princípios do movimento, bem como uma elucidação da natureza dos contrários, caracterizados como “excesso” e “falta”, que juntamente ao “um” (subjacente) constituem a totalidade dos princípios defendidos por Aristóteles³. O subjacente é aquilo que permanece, uma vez que “é preciso, sempre, que algo esteja subjacente àquilo que vem a ser, e que aquilo [*sc.* que subjaz], mesmo se for um em número, não seja um pela forma (por “pela forma” quero dizer o mesmo que “pela definição”)” (*ibid.*, p. 36, 190a13). Ou seja, mesmo se o subjacente for “um em número”, uma única substância, ele não deve ser “um pela forma”, já que aquilo que subjaz pode subsistir ou não, deixando de assumir uma forma única. Algo subjacente só perdura quando não é oposto. Dessa forma, o homem subsiste, já que não representa algo contrário. Entretanto, quando uma característica antagônica como “não-musical” está associada a esse homem, ele não subsiste na forma de “homem não-musical”. Em outras palavras, o homem permanece, mas não o indivíduo definido como “amusical”, conforme explica Aristóteles:

³ Aristóteles finaliza o Capítulo 6 do Livro I da *Física* destacando que a questão acerca da quantidade de princípios (dois ou três) constitui grande embaraço (ARISTÓTELES, 2009, p. 35, Física, 189b27). Como destaca o tradutor da obra, o problema só foi resolvido no capítulo seguinte, onde “Aristóteles afirma que os princípios são três: um par de contrários e aquilo que se encontra subjacente aos contrários [...]. Aristóteles pretende concluir que os elementos necessários e suficientes para que tenhamos descrições adequadas do devir são três: duas propriedades contrárias (ou intermediários entre propriedades contrárias), entre as quais ocorre um processo de substituição, e um subjacente, no qual se dá tal processo (190a13-21)” (ANGIONI, *in* ARISTÓTELES, 2009, p. 143).

[...] de fato, não são idênticos o *ser para homem* e o *ser para não-musical*. Um deles subsiste, mas o outro não subsiste: o que não é oposto subsiste (de fato, o homem subsiste), mas o não-musical ou amusical não subsiste, nem subsiste o conjunto de ambos, isto é, o homem amusical (*ibid.*, p. 36, 190a13, grifo do autor).

O homem é o subjacente no qual ocorre determinada mudança. Nesse caso, trata-se da transformação de um *homem não-musical* em um *homem musical*, sendo “não-musical/musical” o par de contrários em que o “não-musical” representa a privação e o “musical” a forma que se procura alcançar. O fato de ser “musical” ou “amusical” é uma das características daquilo que subjaz (no caso, o homem), pois segundo Aristóteles, “é manifesto que tudo vem a ser a partir de um subjacente e de uma forma (pois, de certo modo, o homem musical se constitui de homem e de musical: poder-se-ia analisá-lo em suas definições)” (*ibid.*, p. 37, 190b17).

Na sequência, Aristóteles diz que os princípios são dois, mas que de outro modo são três, como ficará evidente. No primeiro caso, admite-se que os princípios consistem nos contrários, como por exemplo, “o musical e o amusical, o quente e o frio, o arranjado e o desarranjado” (*ibid.*, p. 37, 190b29). Entretanto, o filósofo pondera que, “de outro modo, não se deve dizer assim, pois é impossível que os contrários sofram a ação um do outro” (*ibid.*, p. 37, 190b29), e acrescenta algo distinto para completar o número de contrários, consistindo no subjacente que sofre a ação dos primeiros. Assim, de certa maneira, pode-se dizer que o número de princípios equivale ao de contrários (ou seja, dois); mas que na verdade é três, considerando-se o subjacente como integrante do conjunto de princípios. Essa ideia encontra-se expressa na seguinte passagem:

Por conseguinte, os princípios não são, de certo modo, nem em maior número que os contrários (mas são dois em número, por assim dizer), nem dois, mas sim três, porque lhes pertence um ser distinto: de fato, são distintos o *ser para homem* e o *ser para amusical*, e o *ser para sem-figura* e o *ser para bronze* (*ibid.*, p. 37, 190b29, grifo do autor).

Nos Comentários ao Livro I, o tradutor explica que quando Aristóteles enfatiza a distinção entre um “ser para homem” e um “ser para amusical”, ou entre um “ser para sem figura” e um “ser para bronze”, o filósofo quer dizer que “a distinção entre o subjacente e os contrários não é uma distinção numérica, mas uma distinção *pela forma*” (ANGIONI, in ARISTÓTELES, 2009, p. 162). Nesse sentido, a diferença existente entre um “ser para homem” e um “ser para amusical”, ou seja, entre um

subjacente e um contrário, é que o primeiro subsiste, e o outro não, já que “o que não é oposto subsiste (de fato, o homem subsiste), mas o não-musical ou amusical não subsiste, nem subsiste o conjunto de ambos, isto é, o homem amusical” (ARISTÓTELES, 2009, p. 36, Física, 190a13). Assim, o número de princípios e de contrários seria o mesmo, admitindo-se que, “em termos numéricos, há apenas o *terminus a quo* e o *terminus ad quem*⁴” (ANGIONI, in ARISTÓTELES, 2009, p. 162); em outras palavras, numericamente há apenas o ponto de partida e o de chegada. Considerando isso, poder-se-ia afirmar que o número de contrários (dois) equivale ao número dos princípios do movimento, da transformação de algo. Mas um contrário não atua sobre o outro, sendo necessário um terceiro elemento (subjacente) para sofrer a mudança.

É por meio dessa argumentação detalhada que Aristóteles conclui, enfim, que existem três princípios do movimento, consistindo naquilo que sofre a mudança e no par de contrários que representa a dicotomia falta/excesso.

1.2 A noção aristotélica de movimento

Após investigar a quantidade e natureza dos princípios internos do movimento, Aristóteles ressalta que a compreensão do assunto é fundamental para entender o objeto da investigação como um todo, focada no estudo da natureza, conforme observa ao iniciar o Livro III da *Física*:

A natureza é o assunto da nossa investigação, e a natureza é o princípio da mudança⁵, então se nós não entendermos o processo da mudança, nós também não entenderemos a natureza; nós devemos dedicar alguma atenção à mudança, então⁶ (ARISTOTLE, 2008, p. 56, Physics, 200b12).

⁴ *Terminus a quo* e *terminus ad quem* são expressões latinas que expressam movimento, designando respectivamente “o lugar do qual um móvel procura afastar-se [e] o lugar para qual o móvel procura dirigir-se” (ABBAGNANO, 2007, p. 1138).

⁵ O termo “mudança” pode ser entendido aqui como “movimento”. Tal interpretação pode ser corroborada com uma passagem do Livro I do tratado *Do céu*, no qual Aristóteles discorre sobre a sua cosmologia. Diz Aristóteles: “todos os corpos naturais e grandezas são capazes de movimento próprio no espaço. De fato, consideramos a natureza como sendo seu princípio de movimento” (ARISTÓTELES, 2014, p. 45, 268b15).

⁶ No original: “Nature is the subject of our enquiry, and nature is a principle of change, so if we do not understand the process of change, we will not understand nature either; we must devote some attention to change, then”.

O trecho destacado demonstra a estreita relação entre natureza (tema principal da *Física* de Aristóteles) e mudança, que pode ser entendida como movimento no sentido aristotélico do termo, conforme será explicado. Para Aristóteles, o movimento como mudança de lugar é apenas uma das formas possíveis de mudança. Höffe diz que, “mais amplo do que aquele da modernidade, o conceito aristotélico de movimento abrange quatro classes de movimentos” (HÖFFE, 2008, p. 101). Essas “classes de movimentos” correspondem aos tipos de mudança elencados por Aristóteles, que diz:

Então para algo mudar, ele inevitavelmente faz quanto à substância, ou quantidade, ou qualidade, ou lugar, e, como eu disse, é impossível conceber o que quer que seja que seja comum às coisas que sofrem mudanças que não seja em si mesmo ou uma substância, ou uma quantidade, ou uma qualidade, ou um membro de uma das outras categorias⁷ (ARISTOTLE, 2008, p. 57, Physics, 200b32).

Conforme a passagem acima, Aristóteles considerava que havia quatro maneiras pelas quais algo podia ser mudado: em relação à substância, quantidade, qualidade ou lugar. Antes de exemplificar como as coisas podem mudar segundo cada uma dessas categorias⁸, o filósofo esclarece que sempre há duas maneiras pelas quais algo pode existir, em relação a qualquer categoria. Segundo Aristóteles, “existem sempre duas maneiras em que um item em qualquer categoria pode ser a propriedade de algo”⁹ (*ibid.*, p. 57, 201a3). O autor cita exemplos para cada categoria elencada anteriormente: no que concerne à substância, algo pode existir em sua forma ou na privação desta; quanto à qualidade, o objeto pode ser claro ou escuro; em relação à quantidade, uma coisa pode

⁷ No original: “For when something changes, it inevitably does so in respect of substance or quantity or quality or place, and, as I say, it is impossible to conceive of anything which these categories all share which is not itself either a substance or a quantity or a quality or a member of one of the other categories”.

⁸ Aristóteles denomina como *categorias* as quatro maneiras pelas quais pode ocorrer a mudança (substância, quantidade, qualidade e lugar). Entretanto, segundo o Estagirita, essas não são as únicas categorias existentes, cuja totalidade é enumerada na obra *Categorias*, IV: “Cada uma das palavras ou expressões não combinadas significa uma das seguintes coisas: o que (a substância), quão grande, quanto (a quantidade), que tipo de coisa (a qualidade), com o que se relaciona (a relação), onde (o lugar), quando (o tempo), qual a postura (a posição), em quais circunstâncias [...], quão ativo, qual o fazer (a ação), quão passivo, qual o sofrer (a paixão)” (ARISTÓTELES, 2005, p. 41, 1b25). Em resumo, trata-se de dez categorias, sendo elas: substância, quantidade, qualidade, relação, lugar, tempo, posição, condição, ação e paixão (entendendo-se “paixão” como sofrer determinada ação). Categorias consistem nas “formas últimas da atribuição. *Katagorein ti kata tinous* significa ‘atribuir alguma coisa a alguma coisa’. No juízo ‘o homem é branco’, ‘homem’ entra, em última instância, na categoria da substância, ao passo que ‘branco’ entra na de qualidade. A lista geralmente reconhecida das categorias compreende dez, mas Aristóteles não estabeleceu em lugar algum que este era um número fixo e definitivo” (PELLEGRIN, 2010, p. 15).

⁹ No original: “there are always two ways in which an item in any category can be the property of something”.

ser completa ou incompleta; por fim, quanto à mudança de lugar (deslocamento), algo pode mover-se para cima ou para baixo, ligeira ou lentamente (*ibid.*, p. 57, 201a3-8).

Dito isso, Aristóteles enfim esclarece o que entende por *mudança*, que seria a atualização daquilo que existe potencialmente: “Agora que nós distinguimos entre potencialidade e realidade em cada categoria, nós podemos ver que mudança é a realidade daquilo que existe potencialmente, visto que esta realidade existe potencialmente”¹⁰ (*ibid.*, p. 57, 201a9). O filósofo exemplifica afirmando que a realidade de algo capaz de se alterar é a alteração; do que pode aumentar e diminuir, o aumento e a diminuição; de uma coisa suscetível de ser criada e destruída, a criação e a destruição; e de algo que pode se mover, o movimento. Entendendo-se a mudança como atualização daquilo que existe em potencial, a alteração, o aumento/diminuição, criação/destruição e movimento são as formas de mudança, concernentes às modificações relativas à qualidade, quantidade, substância e lugar, respectivamente. Aristóteles cita, então, o exemplo de uma casa a ser construída: enquanto algo a ser construído, a realidade da casa é a construção, e não a casa concluída. Isso porque uma vez que a casa esteja pronta, não há mais nada a ser construído. Nesse caso, a mudança é a construção, pois tal processo é a realidade da casa enquanto esta existe potencialmente (enquanto não foi concluída). Nas palavras do Estagirita, “o processo de construção [da casa] deve ser sua realidade, e este processo é um tipo de mudança”¹¹ (*ibid.*, p. 58, 201b5). Segundo Aristóteles, o mesmo ocorre com outros tipos de mudança, significando que a alteração, o aumento/diminuição e o movimento são processos pelos quais algo busca realizar aquilo que está em potência, e enquanto tal atualização não se completa, a realidade dessas coisas que existem potencialmente consiste nos processos de mudança (alteração, aumento/diminuição, criação/destruição e movimento).

Ressalta-se que apesar de a ideia de *mudança* estar relacionada com a de *movimento*, geralmente tais conceitos referem-se a coisas distintas. Fátima Évora observa que “embora todo movimento seja uma mudança, nem toda mudança é

¹⁰ No original: “Now that we have distinguished between potentiality and actuality in each category, we can see that change is the actuality of that which exists potentially, in so far as it is potentially this actuality”.

¹¹ No original: “the process of construction must be its actuality, and this process is a kind of change”.

movimento” (ÉVORA, 2005, p. 131). A exposição precedente evidencia isso, ao apresentar o movimento como um tipo de mudança, nomeadamente como mudança de lugar (deslocamento). Entretanto, segundo Évora (*ibid.*, p. 131), a distinção entre “mudança” e “movimento” não é algo rigidamente estabelecido, pois houve ocasiões em que Aristóteles usou as duas palavras como se fossem apenas sinônimas, e não como termos que apresentam diferentes nuances. De qualquer forma, a distinção entre “mudança” e “movimento” é bastante clara em determinadas passagens da *Física*, conforme podemos observar no seguinte trecho do Livro VIII: “Dos três tipos de mudança¹² – mudança de tamanho¹³, mudança de qualidade, e mudança de lugar (ou em outras palavras, movimento)”¹⁴ (ARISTOTLE, 2008, p. 212, Physics, 260a26). Nessa passagem, fica claro que o autor pretendeu caracterizar o movimento como um tipo de mudança, ao invés de um modo alternativo para referir-se a ela. Assim, depreende-se que, para Aristóteles, movimento é uma mudança local.

1.3 Cosmologia de Aristóteles: mundo sublunar e supralunar

Para compreender as nuances do pensamento de Aristóteles acerca do movimento, é importante considerar suas ideias cosmológicas. Para o filósofo, o Cosmos seria um “espaço finito, plenamente preenchido, limitado por uma esfera, à qual estavam ligadas as estrelas e centrada na Terra” (PORTO, 2009, p. 4). Com isso, ele rejeita a ideia do infinito, limitando a uma esfera tudo o que existe. Além disso, ao considerar o Cosmos como um espaço totalmente preenchido, Aristóteles recusa a existência do vácuo, pois este seria tão absurdo quanto à existência do nada, do não ser, de modo que o Universo aristotélico era completamente material (*ibid.*, p. 4).

¹² No Livro III, mais especificamente em 200b32 (conforme nota nº 7, na página 17), Aristóteles diz que, para algo mudar, “ele inevitavelmente faz quanto à substância, ou quantidade, ou qualidade, ou lugar” (ARISTOTLE, 2008, p. 57, Physics, 200b32), mas em seguida, no Livro V, o filósofo diz que existem apenas três tipos de mudança (*ibid.*, p. 120, 224b35). Para Aristóteles, a mudança deve envolver algum tipo de oposição (contrariedade ou contradição), e por isso não haveria mudança em relação à substância, “já que não há nenhum ser que seja contrário à substância” (ÉVORA, 2005, p. 132).

¹³ A expressão “change of size” presente na tradução em inglês foi traduzida como “mudança de tamanho”. Na supracitada tradução, há uma nota explicativa acerca do motivo pelo qual a expressão “change of size” foi utilizada, ao invés de “change of quantity”. Alegou-se que Aristóteles concentrou-se em um tipo especial de mudança quantitativa, referente ao crescimento dos seres vivos; mas que, contudo, a expressão “change of quantity” designa muitas outras formas de mudanças em relação à quantidade, como, por exemplo, qualquer tipo de diminuição (BOSTOCK, *in* ARISTOTLE, 2008, p. 293).

¹⁴ No original: “Of the three kinds of change – change of size, change of quality, and change of place (or in other words, movement)”.

De acordo com Aristóteles, esse Cosmos finito era dividido em duas regiões distintas. Havia, portanto, dois mundos: o mundo sublunar e o supralunar. Esse aspecto da filosofia aristotélica é particularmente importante para a discussão acerca do movimento, pois para cada um desses mundos o movimento é pensado de forma diferente. Mas antes de apresentar as concepções de Aristóteles acerca do movimento em cada um dos mundos, é necessário esclarecer como ele entendia cada uma dessas regiões.

A distinção entre mundo sublunar e supralunar, que diga-se de passagem, não são termos do próprio Aristóteles, mas sim de seus comentadores¹⁵, está relacionada à doutrina aristotélica dos cinco elementos. Para o filósofo, o mundo seria composto por cinco substâncias simples: terra, água, ar, fogo e éter. As quatro primeiras formariam a região terrestre, enquanto o éter seria a substância corpórea¹⁶ que preencheria a região celeste. O éter seria distinto dos demais elementos, pois segundo Aristóteles:

Também parece que foram os antigos que transmitiram o nome desse corpo à época atual, sendo que os antigos o concebiam do mesmo modo que o concebemos, pois é inevitável crermos que as mesmas concepções são recorrentes não uma vez ou duas, mas inúmeras vezes. Concebendo que o corpo primário era algo distinto e além da terra e do fogo, do ar e da água, conferiram o nome *éter* à região mais elevada, tirando esse nome de *sempre flui* eternamente. Anaxágoras emprega mal a palavra ao empregar éter para fogo (ARISTÓTELES, 2014, p. 51-52, 270b18, grifos do tradutor).

O mundo esférico de Aristóteles comporta “exatamente cinquenta e cinco esferas cristalinas interconectadas, cujo centro comum é a Terra” (ÉVORA, 1993, p. 37)¹⁷. A esfera central (Terra) é circundada por três esferas que comportam os demais elementos da região sublunar, ou seja, referem-se à água, ar e fogo, nessa ordem (de distanciamento em relação à esfera terrestre) (*ibid.*, p. 37). Portanto, o mundo sublunar

¹⁵ De acordo com Pellegrin (2010, p. 62), é preciso “notar que os termos ‘supralunar’ e ‘sublunar’ são uma criação dos comentadores: Aristóteles fala da região ‘de cima’ e da região ‘daqui’”.

¹⁶ Aristóteles caracterizou a região superior como sendo uma “substância corpórea”, conforme se depreende na seguinte passagem: “infere-se evidentemente que existe na natureza alguma substância corpórea além das formações desta região inferior, que detém mais divindade e anterioridade do que elas” (ARISTÓTELES, 2014, p. 47, 269a30), a qual chama de *éter* (no entanto, essa palavra já era utilizada pelos autores que precederam Aristóteles).

¹⁷ Diz Aristóteles: “O número total das esferas, incluindo tanto as responsáveis pelo movimento dos planetas quanto as que os contrariam, será cinquenta e cinco” (ARISTÓTELES, 2012, p. 312, 1074a10).

seria composto por quatro esferas correspondentes aos elementos da região terrestre. De acordo com Évora, a esfera da Lua

“divide o Universo em duas regiões nitidamente distintas, a terrestre e a celestial, ocupadas por materiais distintos e governadas por leis distintas. Todas as coisas que compõem a região celestial, a saber, as estrelas, os planetas e as esferas cristalinas, são feitas de éter. Todas as coisas que pertencem à região terrestre, por outro lado, são feitas de um dos quatro elementos terrestres: a terra, o ar, o fogo e a água (ou de uma combinação deles)” (*ibid.*, p. 40).

Os corpos compostos resultam da combinação dos elementos terrestres. Para Aristóteles, alguns corpos “são simples, enquanto alguns são compostos dos simples (entendo por *simples* todos os que *contêm um princípio motriz natural*, como o fogo e a terra, acompanhados de suas espécies, e os outros [corpos] que lhes são afins)” (ARISTÓTELES, 2014, p. 45, 268b27, grifos do tradutor). Essa propriedade dos elementos terrestres também os diferencia do éter, que não está sujeito a nenhuma alteração, uma vez que “é eterno; não está submetido nem ao crescimento nem ao decrescimento, sendo, sim, sem idade, inalterável e *impassível*” (*ibid.*, p. 51, 270b2, grifo do tradutor).

Nota-se, portanto, que a divisão do Cosmos em região sublunar e supralunar caracteriza-se como uma diferenciação entre os elementos que compõem o mundo. Ademais, essa diferença também implica na distinção entre dois tipos de movimentos, o retilíneo e o circular, conforme será demonstrado a seguir.

1.4 Movimentos retilíneo, circular, natural e não natural

Ora, todo movimento no espaço, que chamamos de locomoção, é *ou retilíneo, ou circular, ou uma associação de ambos*. [...] O movimento circular é aquele em torno do centro, o movimento retilíneo o *ascendente e descendente*; entendo por *ascendente* o movimento que se distancia do centro (centrífugo), e por *descendente* aquele que se dirige ao centro (centrípeto). Infere-se que todo movimento simples¹⁸ no espaço é necessariamente centrífugo, ou centrípeto, ou em torno do centro (*ibid.*, p. 45, 268b17, grifos do tradutor).

¹⁸ Aristóteles também admite a existência de movimentos compostos, ao afirmar em seguida que tais movimentos concernem aos “corpos compostos, ainda que seja possível o movimento ser determinado pelo elemento predominante no composto” (ARISTÓTELES, 2014, p. 45, 269a2). Em outras palavras, corpos formados pela junção de dois ou mais elementos terrestres (uma vez que o éter não é passível de combinações com outros elementos) possuem movimentos compostos, cuja espécie (ascendente ou descendente) depende de sua composição, ou seja, do elemento mais presente nesse corpo.

Após distinguir os tipos de movimentos simples, Aristóteles defende a existência de movimentos *naturais* e *não naturais*¹⁹, algo relacionado à concepção de que os movimentos são retilíneos ou circulares. Segundo o filósofo, isso consiste em uma

“hipótese adicional de que todo movimento é *ou natural* ou *não natural*, e de que o movimento não natural em relação a um corpo é natural em relação a um outro, tal como os movimentos ascendente e descendente, pois aquele que é natural para o fogo (o ascendente) é não natural para a terra, e o que é natural para esta última (o descendente) é não natural para o fogo” (*ibid.*, p. 47, 269a33, grifos do tradutor).

Acrescente-se a essa divisão dos movimentos em “naturais” e “não naturais” a ideia de que cada corpo simples possui apenas um movimento natural (*ibid.*, p. 47, 269a8). Sendo assim, cada corpo simples (terra, água, ar e fogo) locomover-se-ia apenas de uma forma, e todo movimento contrário a isso seria algo “não natural”. Mais adiante, Aristóteles comenta que “se o movimento fosse ascendente, o corpo seria fogo ou ar, ao passo que, se fosse descendente, seria água ou terra” (*ibid.*, p. 46, 269a18). Ou seja, os elementos terrestres possuem trajetória retilínea, dirigindo-se ao centro da Terra (terra e água) ou afastando-se do centro (ar e fogo). Logo, o *movimento natural dos corpos terrestres é o movimento retilíneo*, seja este ascendente ou descendente. Inicialmente, poder-se-ia pensar que, uma vez que o movimento retilíneo é o movimento natural da terra, água, ar e fogo, o movimento “não natural” desses corpos seria o movimento circular. Entretanto, Aristóteles esclarece que “a uma coisa só é possível possuir um contrário, sendo o contrário do ascendente o descendente, e do descendente o ascendente” (*ibid.*, p. 46, 269a14). Assim, o movimento não natural (violento) dos corpos sublunares também seria retilíneo.

Agora, cabe analisar as concepções aristotélicas acerca do movimento circular, que por existir apenas no mundo supralunar, seria o movimento do éter, que compõe todos os corpos celestes. Contudo, há um problema: se um corpo move-se circularmente, sua trajetória não pode ser ascendente e nem descendente. Elimina-se, portanto, a dicotomia que representa a oposição entre o movimento natural e o não natural. Diferente do que ocorre em relação ao movimento retilíneo, o movimento

¹⁹ Os comentadores costumam designar o movimento não natural como “movimento violento”. Contudo, a tradução em português consultada adota a expressão “não natural”, e por esse motivo preferi utilizar esse termo ao invés de “violento”.

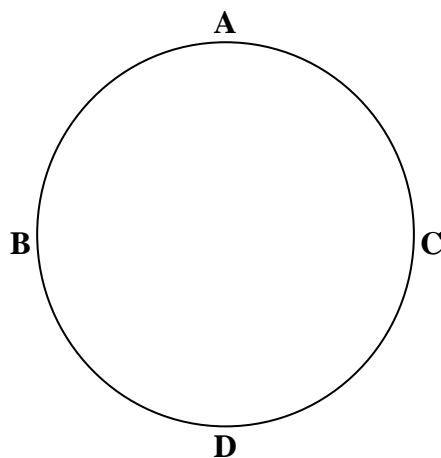
circular não comporta movimentos contrários (ascendente/descendente). Poder-se-ia pensar que movimentos circulares em direções opostas poderiam ser considerados movimentos contrários, mas Aristóteles rejeita a hipótese:

Assim, na hipótese de haver um contrário do movimento circular, o movimento retilíneo seria necessariamente o melhor candidato a isso. Entretanto, os tipos de movimento retilíneo opõem-se entre si *devido aos seus lugares*²⁰; ascendente e descendente constituem concomitantemente diferença de lugar e contrários (*ibid.*, p. 52-53, 271a2, grifo do tradutor).

Essa diferença em direção ao lugar é impossível em um movimento circular, pois não importa qual seja o ponto de partida, já que o corpo em tal trajetória chegaria ao mesmo ponto caso completasse o movimento. De acordo com o Estagirita:

Não se pode, sequer, considerar que o movimento circular de A a B seja contrário ao movimento de A a C. Com efeito, o movimento parte do mesmo ponto rumo ao mesmo ponto, ao passo que definimos o movimento contrário como movimento de um contrário para seu contrário. Além disso, mesmo supondo-se que um movimento circular fosse contrário a um outro circular, um dos dois seria destituído de propósito, pois seria movimento para o mesmo ponto, já que [um corpo] a girar num círculo, não importa de que ponto parta, tem que atingir necessária e igualmente os lugares opostos. (Lugares opostos são o acima e o abaixo, o dianteiro e o traseiro, o direito e o esquerdo.) (ARISTÓTELES, 2014, p. 53, 271a19).

Para ilustrar a ideia acima, imaginemos um círculo ABCD, com pontos equidistantes entre si, conforme a figura:



²⁰ Em uma nota de rodapé, o tradutor explicou que a expressão “devido aos seus lugares”, destacada por ele, significa “do ponto de vista espacial” (BINI, *in* ARISTÓTELES, 2014, p. 53).

Segundo Aristóteles, um movimento circular para a esquerda (de A a B) não é contrário a um movimento para a direita (de A a C), pois a despeito de visarem pontos opostos (B e C), tais deslocamentos chegariam ao mesmo ponto (D), após terem partido de um ponto comum (A); e caso continuassem sua trajetória até retornarem ao ponto inicial A, ambos teriam passado exatamente pelos mesmos pontos, de maneira inversa (BDC e CDB). Isso é plausível, pois como diz Aristóteles, “o número de trajetórias circulares através dos mesmos pontos pode ser infinito” (*ibid.*, p. 53, 271a10).

Dado que movimentos circulares em direções opostas não se caracterizam como sendo contrários (já que visariam o mesmo ponto), demonstra-se que o movimento circular não possui nenhum contrário, e que assim não haveria um movimento circular “não natural”, pois este deveria ser contrário ao natural. Como o movimento circular é próprio ao éter, evidencia-se que o *movimento natural dos corpos celestes é o movimento circular*. Aristóteles é bastante claro em relação a esse ponto quando afirma que a “inexistência de qualquer movimento no espaço distinto do *movimento circular* e a ele contrário pode ser comprovada de muitos modos” (*ibid.*, p. 52, 270b32).

Tornou-se clara a estreita relação entre os movimentos retilíneo e circular com os movimentos naturais e não naturais. Considerando-se que o movimento retilíneo ocorre no mundo sublunar, e que o movimento circular é próprio da região supralunar, esclareceu-se a afirmação feita anteriormente, de que “para cada um desses mundos o movimento é pensado de forma diferente” (p. 20). No tópico seguinte, mostrar-se-á porque a diferenciação entre movimentos retilíneos e circulares é importante para a discussão sobre a persistência do movimento e a causalidade na filosofia de Aristóteles.

1.5 Movimento, repouso e causalidade

Os escritos de Aristóteles permitem delinear a sua elaborada concepção de movimento, possibilitando uma reflexão acerca da causalidade, na qual se baseia todo o sistema físico do Estagirita. Cabe notar que os efeitos dos agentes causais são cruciais não apenas para a correta compreensão da filosofia aristotélica da natureza, pois a questão da causalidade também está relacionada à noção galileana de movimento.

Para melhor compreender a ideia da persistência do movimento na filosofia aristotélica, é importante ter em mente qual a concepção de movimento para o Estagirita, que consiste em uma mudança local (ver p. 19). Trata-se de

“um *processo* que ocorre com o corpo que se move. Nesse sentido, o movimento, embora não corresponda, a rigor, a uma *propriedade intrínseca* é, por outro lado, uma sucessiva ocupação de *lugares* no universo em um esquema cosmológico *geocêntrico* que confere a cada um deles uma distinção *absoluta*. O *lugar natural* é tão somente aquela posição no esquema cosmológico que representa o termo final do processo de movimentação natural. Nesse sentido, pode-se entender todo movimento, seja natural, seja violento, como um *processo absoluto*. Isso significa que ele não depende de observadores ou sistemas de referência” (POLITO, 2015, p. 5-6).

Depreende-se do trecho acima que no sentido aristotélico, o movimento consiste em uma contínua sucessão de lugares ocupados cujo último ponto corresponde ao chamado “lugar natural”, sendo que cada espaço ocupado é entendido de maneira absoluta, independentemente de qualquer referencial. Tal ideia difere do entendimento galileano de que o movimento é dependente da descrição de um observador:

Galileu conseguiu conceber o movimento como atributo exclusivamente *relativo*, de tal modo que ele não constituía mais algo similar a uma *propriedade essencial*, ou seja, *intrínseca*, dos corpos. [...] Movimento e repouso passaram a ser concebidos como sendo apenas *estados* diferentes associados a um mesmo corpo, o que significa que são, intrinsecamente, dependentes da *descrição de um observador* (*ibid.*, p. 13).

Ou seja, enquanto na filosofia aristotélica o movimento era concebido como uma *mudança*, algo que possuía um ponto de partida e um ponto de chegada (e, entre esses dois extremos, uma série de lugares sucessivos ocupados durante o deslocamento), na modernidade o movimento e o repouso foram definidos simplesmente como *estados*.

Essa diferenciação (mudança/estado) será retomada adiante, tendo sido mencionada agora apenas para sublinhar que Aristóteles considerava o movimento como uma mudança, algo que tinha uma finalidade, e que não poderia persistir. Além da evidente relação entre tal ideia e a questão da causalidade²¹, essa ideia de finalidade é

²¹ Aristóteles não compartilhava da ideia de que o movimento pudesse persistir por si só, julgando necessária a ação de agentes causais. Entretanto, o tipo de causalidade envolvida depende do tipo de movimento, “pois, no caso dos movimentos naturais, elas [as causas] são identificadas com as *potências* que os corpos possuem para ocuparem seus lugares naturais (potências relacionadas com o seu “peso” ou

decorrência da crença aristotélica de que *cada corpo possui o seu lugar natural*. Koyré sintetiza da seguinte maneira a noção aristotélica de “lugar natural”:

[...] no universo, as coisas estão (ou devem estar) distribuídas e dispostas de uma maneira bem determinada; que estar aqui ou ali não lhes é indiferente, mas que, ao invés, cada coisa possui, no universo, um lugar próprio, conforme à sua natureza (KOYRÉ, 1986, p. 22-23).

Isso significa que os movimentos naturais dos corpos orientam-se para os lugares naturais de cada um deles. Assim, no caso dos corpos simples (terra, água, ar e fogo), os lugares naturais correspondem à sua respectiva esfera, que circunda a esfera central (Terra), sendo esta o “lugar natural” dos corpos compostos majoritariamente pelo elemento “terra”. Portanto, o tipo de movimento retilíneo (ascendente ou descendente) de cada elemento é determinado pelo fato de que cada coisa possui seu lugar natural, no qual tende a permanecer caso uma força não altere tal situação. Segundo Koyré, seria preciso “reconduzir as coisas aos seus lugares naturais, convenientes, onde elas poderiam repousar e repousar-se. É este regresso à ordem que constitui justamente o que nós chamamos movimento natural” (*ibid.*, p. 23). A explicação de Koyré vem ao encontro da afirmação de que, para Aristóteles, o movimento é uma mudança, e que haveria uma tendência para o repouso:

Todas as coisas estão em repouso e movem-se forçadas a fazê-lo ou naturalmente; uma coisa se move conforme a natureza para onde repousa sem ser forçada, e assim se comporta no lugar para onde se move conforme a natureza. É pela ação da força que se move ao lugar em que repousa na mesma condição, e repousa por ação da força ali para onde se move por ação da força. Além disso, se um determinado movimento é por ação da força, seu contrário é natural (ARISTÓTELES, 2014, p. 69, 276a23)²².

Ao dizer que as coisas podem ser *forçadas* a se manterem em movimento, Aristóteles reforça a tese de que existiria uma tendência ao repouso, e que

“leveza”) e são, portanto, *causas finais*. Já no caso dos movimentos violentos, elas correspondem ao *contato* (relacionado com a “força”, compreendida como ação de um corpo sobre outro) e são, portanto, *causas eficientes*” (POLITO, 2015, p. 6, grifos do autor).

²² Em suma, nessa passagem Aristóteles afirma que quando um corpo se desloca naturalmente, o seu repouso é natural; mas que quando tal movimento é forçado, o corpo também repousa mediante a ação de uma força. Mais adiante, o filósofo retoma esse ponto: “O repouso também é necessariamente ou por imposição de força ou natural; se a ação de uma força imposta moveu alguma coisa para um determinado lugar, essa coisa ali permanecerá mediante a ação de força imposta, enquanto se o movimento ocorreu naturalmente a permanência no lugar também será natural” (ARISTÓTELES, 2014, p. 158, 300a27).

“qualquer movimento implica uma desordem cósmica, uma ruptura de equilíbrio, quer ele mesmo seja efeito imediato de uma tal ruptura, causada pela aplicação de uma força exterior (violência), ou, pelo contrário, efeito do esforço compensatório do ser para reencontrar o seu equilíbrio perdido e violado” (KOYRÉ, 1986, p. 23).

Nesse trecho, Koyré explica que tanto o movimento natural quanto o violento são *desequilíbrios*, caracterizando-se como a causa da desordem (movimento não natural ou “violento”) ou a tentativa (movimento natural) de retornar à condição anterior, que consiste no repouso de cada coisa em seu lugar natural correspondente.

O repouso é a finalidade de todo movimento, sendo este entendido como “a realidade daquilo que existe potencialmente” (ARISTOTLE, 2008, p. 57, Physics, 201a 9), sendo o repouso a realização de tal potencialidade, uma vez que representa a cessação do movimento. Importante ressaltar que *todo movimento tem uma causa*, sendo esta a própria natureza da coisa (movimento natural) ou a força empregada para que algo deixe de estar em repouso (movimento não natural ou violento).

Os movimentos naturais que admitem contrários não podem ser circulares, afinal *movimentos circulares não possuem contrários* (ARISTÓTELES, 2014, p. 52, 270b32). Assim, as coisas que repousam em seus lugares naturais, afastam-se deles por ação da força e retornam devido à natureza (admitindo sempre um movimento contrário) realizam um *movimento retilíneo, que só pode ocorrer no mundo sublunar*. Evidenciou-se que por ser o movimento uma mudança, ele não pode persistir indefinidamente, logo os movimentos ascendente e descendente (que caracterizam contrários e assim só podem ser retilíneos) não são eternos. Tal entendimento é corroborado pela seguinte passagem do Livro VIII da *Física*:

Em primeiro lugar, é impossível mover-se sobre uma linha reta infinita, porque não pode existir algo tal como uma linha reta que seja infinita neste sentido; também, até se existisse tal coisa, ela não seria percorrida por nada, porque o impossível não acontece, e é impossível percorrer algo que é infinito em extensão²³ (ARISTOTLE, 2008, p. 224-225, Physics, 265a17).

²³ No original: “In the first place, it is impossible to move over an infinite straight line, because there can be no such thing as a straight line which is infinite in this sense; also, even if there were such a thing, it would not be traversed by anything, because the impossible does not happen and it is impossible to traverse something which is infinite in extent”.

A passagem acima expressa claramente a crença aristotélica da existência de um mundo finito. Tal mundo seria limitado por uma esfera, conforme expresso no tópico 1.3 (p. 19). Uma reta infinita ultrapassaria tal limite, e por isso não poderia existir. Conclui-se que *Aristóteles não teria defendido que o movimento retilíneo ou linear pudesse persistir indefinidamente*.

A reflexão acerca do movimento retilíneo relaciona-se com a questão da causalidade, uma vez que corresponde ao efeito ao qual estão relacionadas as causas finais (no caso dos movimentos naturais) e as causas eficientes (concernentes aos movimentos violentos)²⁴. Em outras palavras, à natureza dos corpos e ao contato (força externa de um corpo sobre outro), respectivamente relativas aos movimentos naturais e violentos, corresponde o efeito da mudança de lugar.

Considerando-se que Aristóteles tenha rejeitado a ideia de que o movimento linear pudesse persistir indefinidamente, cabe agora analisar se ele pensava o mesmo a respeito do movimento circular. Em algumas passagens de sua obra, percebe-se que *Aristóteles admitiu a conservação do movimento circular*, enquanto que os movimentos retilíneos não podem ser eternos, dado que estes possuem um ponto de partida e um ponto de chegada (repouso). Diz o Estagirita, sobre a eternidade dos movimentos circulares (relativos aos corpos celestes no mundo supralunar):

[...] o movimento circular pode ser eterno, mas nenhum outro tipo de movimento, e nenhum outro tipo de mudança pode ser eterna também, porque eles estão destinados ao repouso, e a presença do repouso significa que o movimento ou mudança deixou de existir²⁵ (*ibid.*, p. 225, 265a24).

A sentença que inicia o Livro VII da *Física* diz que “tudo o que muda deve ser mudado por alguma coisa”²⁶ (*ibid.*, p. 167, 241b34). Esse princípio causal abrange tanto os corpos do mundo sublunar quanto aqueles do mundo supralunar. No primeiro caso,

²⁴ Ver nota de rodapé 21 (p. 25-26).

²⁵ No original: “circular movement can be eternal, but no other kind of movement, and no other kind of change either, can be eternal, because they are bound to involve rest, and the presence of rest means that the movement or change has ceased to exist”.

²⁶ No original: “Everything that changes must be changed by something”. Aristóteles retoma essa ideia em *Do Céu*, quando afirma que “tudo o que é movido o é por alguma coisa” (ARISTÓTELES, 2014, p. 114, 288a28).

tratar-se-ia de *causas finais* (identificadas com as potências dos corpos na busca por seus lugares naturais) ou *eficientes* (quando um corpo é afastado do seu lugar natural e mantido em movimento por uma força externa em contato com ele) (POLITO, 2015, p. 6). A tais causas correspondem, respectivamente, os movimentos naturais e violentos no mundo sublunar. Por sua vez, os corpos celestes não dependem de contato para permanecerem em movimento, e o fazem segundo sua própria natureza²⁷, assim como ocorre com os corpos que efetuam movimentos naturais no mundo sublunar.

Para explicar como ocorre o movimento dos corpos celestes, Aristóteles defendeu a existência de um *primeiro motor*, eterno e imóvel, que seria a causa final dos movimentos eternos e circulares no espaço, e que move sem ser movido²⁸. No Livro XII da *Metafísica*, o filósofo diz que

“*como* aquilo que é movido é necessariamente movido por alguma coisa, e o primeiro motor tem que ser, em si, imóvel, e o movimento eterno tem que ser produzido por alguma coisa eterna, e um único movimento por uma única coisa; e *como* podemos perceber que além do simples movimento espacial do universo (que supomos ser produzido pela substância imóvel primária) há outros movimentos espaciais, isto é, o dos planetas, que são eternos (porque um corpo que se move num círculo é eterno e jamais está em repouso, o que foi demonstrado na *Física*), *então* cada um desses movimentos no espaço tem também que ser produzido por uma substância que seja em si mesma imóvel e eterna. Com efeito, a natureza dos corpos celestes é eterna, constituindo um tipo de substância; e o motor é eterno e anterior ao movido, além do que aquilo que é anterior a uma substância tem que ser uma substância. Evidencia-se, portanto, que deve haver necessariamente *um igual número de substâncias* de natureza eterna, imóveis em si mesmas e destituídas de magnitude, isso por força da razão já indicada” (ARISTÓTELES, 2012, p. 310, 1073a25, grifos do tradutor).

Além de afirmar que o primeiro motor é uma substância imóvel e eterna, causa de um movimento espacial eterno, Aristóteles diz que *não existe apenas um movimento espacial*, uma vez que existe o movimento dos planetas; entretanto, para cada movimento espacial deve existir uma causa correspondente, sendo esta uma substância

²⁷ Em *Do Céu*, Aristóteles “conclui necessariamente pela existência de um corpo simples de tal formação natural a se mover num círculo de acordo com sua própria natureza” (*ibid.*, p. 46, 269a5).

²⁸ Segundo Aristóteles, “uma vez que há alguma coisa que move enquanto não é ela mesma movida, existindo em ato, esta não pode ser diferentemente do que é em nenhum aspecto. De fato, o primeiro tipo de mudança é o movimento no espaço e o primeiro tipo de movimento no espaço é o circular. E isso é produzido pelo primeiro motor. Este, então, existe necessariamente e, porquanto é necessário, é bom, e neste sentido um primeiro princípio” (ARISTÓTELES, 2012, p. 307, 1072b8).

eterna e imóvel. Ou seja, não existe apenas um motor²⁹, mas sim uma quantidade igual de motores e movimentos causados por eles. Ademais, na supracitada passagem pode-se perceber novamente que Aristóteles defendeu a conservação dos movimentos circulares, e que um corpo movendo-se dessa forma jamais estaria em repouso.

1.6 O movimento do projétil e a impossibilidade do vazio

Quando estão em trajetória contrária a sua natureza (ou seja, quando realizam um movimento violento), os corpos do mundo sublunar precisam estar em contato constante com a causa de tal movimento, sendo que este cessa caso não haja contato. De acordo com Koyré (1986, p. 26):

Se se trata do movimento natural, essa causa, esse motor é a própria natureza do corpo, a sua forma, que procura reconduzi-lo ao seu lugar; é ela que conserva o movimento. Um movimento não natural exige, ao invés, para toda a sua duração, a ação *contínua* de um motor *exterior* unido ao móvel. Suprima-se o motor, e o movimento parará. Separe-se o motor do móvel, e o movimento igualmente parará. Aristóteles, com efeito, não admite ações à distância: segundo ele, qualquer transmissão de movimento implica um contato.

Ainda segundo o supracitado comentador, a física de Aristóteles possui apenas “um só e único defeito (além do de ser falsa): o de ser contrariada por uma prática diária, pela prática do arremesso” (*ibid.*, p. 26). Trata-se da questão do *movimento do projétil*, ou seja, de um corpo qualquer, como uma pedra ou uma flecha. Tendo como exemplo o lançamento vertical ou horizontal de uma pedra (movimento violento, já que o lugar natural da pedra seria o centro da Terra, por ser constituída pelo elemento “terra”), como explicar a persistência desse movimento, considerando-se que o corpo não está mais em contato com o motor que o arremessou? De acordo com Koyré (*ibid.*, p. 27), Aristóteles resolveu o problema explicando o movimento de um projétil a partir da reação do meio ambiente. Esse papel seria exercido pelo ar, que atuaria na propagação do movimento de um corpo que já perdeu o contato com o motor que o lançou. Segundo o filósofo:

²⁹ Nas palavras de Aristóteles, “os motores são substâncias e um deles é primeiro, um outro o segundo, e assim sucessivamente na mesma ordem dos movimentos espaciais dos corpos celestes” (*ibid.*, p. 310, 1073b1).

Dado que, à exceção dos automotores, cada objeto em movimento é movido por alguma coisa, como é que algumas coisas – coisas que são jogadas, por exemplo – têm continuidade do movimento quando aquilo que iniciou o movimento não está mais em contato com elas? Se o motor também faz outra coisa se mover – o ar, por exemplo, que provoca o movimento por estar em movimento em si – permanece igualmente impossível para o ar estar em movimento quando a primeira causa de movimento não está mais em contato com ele ou fazendo com que ele se mova³⁰ (ARISTOTLE, 2008, p. 229, Physics, 266b27).

Ou seja, após perder o contato com o motor que o impulsionou, o projétil continua a deslocar-se impelido pelo ar³¹, que também foi movido juntamente com o objeto. Entretanto, considerando que o motor deve estar em contato com aquilo que é movido, o ar mantém-se em movimento apenas enquanto está em contato com a causa inicial do deslocamento. Em síntese, pode-se dizer que

“Aristóteles usa o ar como causa eficiente ou agente motor. O ar é empurrado juntamente com o corpo no momento do lançamento e, assim que perdem contato com o que os lançou, o corpo impulsiona o ar, que contorna o corpo com velocidade maior do que aquela impulsionada, para então impulsionar o corpo pela parte inferior impulsionando o corpo adiante” (CAMPOS; RICARDO, 2012, p. 7).

Todavia, apesar de ser responsável pela manutenção do movimento violento de um corpo, o ar também faz o movimento perder força (*ibid.*, p. 8)³². A resistência à continuidade do movimento, exercida pelo meio, foi um dos motivos pelos quais Aristóteles defendeu a impossibilidade do vazio e, por consequência, o movimento no vazio. Ao contrário do ar, o vazio “não é um meio e não pode receber nem, portanto,

³⁰ No original: “Given that, with the exception of self-movers, every moving object is moved by something, how is it that some things – things that are thrown, for instance – have continuity of movement when that which initiated the movement is no longer in contact with them? If the mover also causes something else to move – the air, for instance, which causes movement by being in motion itself – it remains equally impossible for the air to be in motion when the first cause of movement is no longer in contact with it or causing it to move”.

³¹ Em *Do Céu*, Aristóteles retoma a sua teoria do ar como propulsor do movimento do projétil. Diz o filósofo: “O ar, com efeito, é naturalmente tanto leve quanto pesado: produz movimento ascendente na sua qualidade de leve, ao ser propelido e receber impulso da *força* original; produz movimento descendente na sua qualidade de pesado. Quer num caso, quer no outro, a força transmite o movimento à coisa, por assim dizer, como se ‘fazendo-o introduzir-se nela’. É em função disso que algo movido por força imposta permanece em movimento, ainda que o motor deixe de acompanhá-lo. A propósito, o movimento imposto não existiria se não houvesse tal corpo [o ar]” (ARISTÓTELES, 2014, p. 162-163, 301b25, grifo do tradutor).

³² Para Aristóteles, a velocidade do movimento depende da resistência do meio. De acordo com Évora, “Aristóteles afirma, no livro IV da *Physica*, que quanto maior for a resistência do meio, mais lento será o movimento através dele. Portanto o meio, segundo Aristóteles, oferece tanto a causa motriz, como a resistência, do movimento violento” (ÉVORA, 1995a, p. 289).

transmitir e conservar o movimento” (KOYRÉ, 1986, p. 28). Se o vazio não é um meio pelo qual um corpo pode continuar em movimento mesmo após perder o contato com o motor, torna-se impossível o movimento de um projétil, uma vez que este não seria impelido a prosseguir com a sua trajetória antinatural.

Ademais, a tese da existência do vazio contraria até mesmo a ideia de movimento natural, ou seja, do retorno de um corpo ao seu lugar. Segundo Koyré, um corpo que tenha sido arremessado tende a retornar ao ponto inicial o mais depressa possível, considerando-se a resistência do meio ambiente (ou seja, do ar), algo que não seria possível no vazio, já que este não oferece resistência ao movimento. Consequentemente, o corpo mover-se-ia com uma velocidade infinita, mas “um movimento instantâneo parece a Aristóteles (não sem razão) perfeitamente impossível” (*ibid.*, p. 28). Por fim, havia outro motivo pelo qual a dinâmica aristotélica não admitiu a ideia de vazio: o fato de que, no vazio, não poderiam existir lugares naturais. Diz Koyré (*ibid.*, p. 28):

[...] no vazio (isto é, no espaço da geometria euclidiana) não há lugares nem direções privilegiadas. No vazio não pode haver lugares naturais: um corpo, no vazio, não saberia para onde ir, não teria razão para se mover numa direção de preferência a uma outra, e, portanto, para em absoluto se mover.

Em suma, a existência do vazio implicaria necessariamente a impossibilidade do movimento, tanto o do projétil quanto do natural, que por sua vez são essenciais para o sistema aristotélico.

1.7 Primeiras críticas à dinâmica aristotélica: Hiparco

As primeiras críticas à mecânica de Aristóteles surgiram menos de dois séculos após a morte do filósofo, formuladas pelo astrônomo Hiparco³³. Ele contestou a

³³ Hiparco de Niceia (190 – 125 a.C.) foi um dos grandes expoentes da Escola de Alexandria. Dentre suas principais contribuições à ciência, destacam-se a invenção do ramo da matemática denominado trigonometria; o método de projeção estereográfica para representar a Terra em uma superfície plana; e o astrolábio, instrumento para observar a posição dos astros. Adepto da teoria geocêntrica, Hiparco elaborou tabelas descrevendo o movimento do Sol e da Lua ao redor da Terra, e também um catálogo determinando a posição das estrelas. As informações existentes sobre a vida e obra de Hiparco são oriundas de citações provenientes das obras de Estrabão e de Cláudio Ptolomeu (90 – 168 d.C.) (BERTOLDO, 2004, p. 23-25).

explicação aristotélica acerca do movimento dos projéteis após a perda do contato com o primeiro motor, e para isso elaborou o conceito de *força impressa*, defendendo que o projétil permanecia em movimento porque “a ação do motor (força externa) imprimiria ao corpo movente (projétil) uma certa ‘força impressa’” (BERTOLDO, 2004, p. 26). Ou seja, ao invés de o motor empurrar o ar no momento do lançamento do projétil (fazendo assim com que este seja impelido pelo ar e mantenha-se em movimento), ele transmitiria algo ao próprio projétil, permitindo a continuidade do deslocamento deste. Ao defender essa tese, Hiparco torna o projétil responsável pelo próprio movimento, à medida que recebe a “força impressa” do primeiro motor. Enquanto o projétil permanecesse em movimento, tal “força” diminuiria paulatinamente, e após sua completa dissipação, o movimento cessaria e o corpo voltaria ao repouso (*ibid.*, p. 26).

De acordo com Bertoldo (*ibid.*, p. 26), “a força impressa advogada por Hiparco era claramente uma forma de interação que, durante a Idade Média, recebeu o sugestivo nome de *ímpeto*”. Entretanto, apesar de explicar melhor o movimento dos corpos do que a teoria de Aristóteles, a tese de Hiparco não foi aceita porque contrariava os ensinamentos do Estagirita, que detinham grande autoridade na época. Tal incompatibilidade foi o principal motivo para a rejeição da hipótese de Hiparco, mas Bertoldo (*ibid.*, p. 27) menciona outras possíveis razões para o fato:

Provavelmente ela [a teoria de Hiparco] lhes devia parecer por demais abstrata ou especulativa. Pois, como poderiam crer que algo empurrava o projétil, mas que não podiam ver e nem mesmo imaginar? [...] Também se pode acrescentar o fato de que a teoria de Hiparco era fraca ou mesmo insuficiente porque seu autor não apresentou nenhuma prova objetiva para dar fundamento à sua revolucionária concepção de “força impressa”, o que também ajudou a contribuir para que ela caísse no mais completo esquecimento durante séculos, até vir a ser redescoberta por outros pesquisadores.

Apenas no início da Idade Média a teoria de Hiparco ressurgiu como uma alternativa à solução de Aristóteles para o problema do movimento dos projéteis, por meio das ideias de João Filopono³⁴ (século VI d.C.), que serão discutidas no tópico seguinte.

³⁴ João Filopono foi um filósofo cristão nascido no final do século V d.C., tendo sido membro da Escola Neoplatônica de Alexandria. Como diz Fátima Évora, “Philoponos é autor de uma grande variedade de trabalhos sobre filosofia, teologia, matemática e astronomia, sendo autor do mais antigo tratado, em grego, que foi preservado, sobre o astrolábio. Philoponos também escreveu importantes tratados sobre a

1.8 Crítica de Filopono à dinâmica aristotélica

A proposta de Hiparco de que uma “força impressa” era a responsável pela continuidade do movimento do projétil foi retomada séculos depois por Filopono, um comentador da *Física* de Aristóteles, e de modo muito mais elaborado, sendo parte de uma teoria do movimento contraposta à aristotélica. Diz Évora (1995a, p. 291):

[...] apesar da literatura dar enorme destaque à teoria da força cinética impressa e incorpórea associada à explicação do movimento violento, ela não constitui um elemento inovador isolado. Ela faz parte de toda uma teoria de movimento, desenvolvida por Philoponos que inclui um novo conceito de lugar, que implica numa nova concepção de movimento natural e violento, e a fortiori numa nova dinâmica, alternativa à aristotélica. De acordo com a dinâmica de Philoponos, a velocidade de um corpo em movimento é determinada pela diferença aritmética – e não pela razão como propunha Aristóteles – entre a potência motriz e a resistência do meio através do qual o corpo se move. O meio, segundo Philoponos, desempenha uma função unicamente restritiva.

A última frase do trecho destacado expressa uma discordância de Filopono em relação a Aristóteles, para o qual o meio não só era responsável pela continuidade do movimento, mas também resistiria a este³⁵; enquanto que, para Filopono, o meio exerceria apenas o segundo papel. Tratava-se da negação da influência do meio (ar) no movimento violento (projéteis), embora Filopono não tenha rejeitado a ideia de que tudo o que é movido deve ser movido por alguma coisa, conforme sentenciava Aristóteles.

A solução encontrada por Filopono foi propor que aquilo que provoca o movimento transmite ao projétil uma *força incorpórea* responsável pelo deslocamento das coisas após elas perderem o contato com o motor inicial. Segundo Filopono, não haveria evidências de que o movimento violento seria causado da maneira conforme conjecturou Aristóteles (ÉVORA, 1995a, p. 292). O Estagirita propôs duas possíveis respostas ao problema da continuidade do movimento dissociado do motor inicial, e ambas são rejeitadas por Filopono. Conforme explica Évora (1993, p. 86):

criação e destruição do universo, e tratados de menor significância sobre gramática e lógica” (ÉVORA, 1995a, p. 290).

³⁵ Évora observou que, “segundo Aristóteles, os corpos com maior dificuldade em cindir o meio, movem-se mais lentamente do que aqueles com menor dificuldade” (ÉVORA, 1995b, p. 74). Ou seja, quanto maior a resistência do meio, menor a velocidade do corpo em movimento.

[...] os projéteis são movidos adiante mesmo depois que aquilo que deu a eles seu impulso não esteja mais tocando-os, ou 1) pela razão da substituição recíproca³⁶, de acordo com a qual o ar empurrado adiante pelo projétil volta e toma o lugar do projétil, e então empurra-o adiante como alguns sustentam; ou 2) pelo fato de que o ar que foi empurrado, no instante em que o projétil é inicialmente disparado, move-se com um movimento mais rápido do que a locomoção natural, para baixo do projétil, empurrando assim o projétil adiante.

De acordo com Évora, Aristóteles aparentemente preferiu a segunda explicação para o movimento retilíneo violento, citando algumas passagens da *Física* para corroborar tal assertiva (215a15 e 266b28 – 267a15). Em todo caso, Filopono discorda das duas explicações. No que concerne à primeira, na qual o ar empurrado pelo projétil efetua um movimento contrário, retornando para ocupar o lugar do corpo e impulsioná-lo adiante, Filopono faz a seguinte consideração:

[...] seria difícil dizer o que é (uma vez que parece não haver força contrária) que faz o ar, uma vez empurrado adiante, mover-se de volta, isto é, ao longo dos lados da flecha, e depois alcançar a traseira da flecha, voltando uma vez mais e empurrando a flecha adiante. Pois, nesta teoria, o ar em questão deve realizar três movimentos distintos: ele deve ser empurrado para frente pela flecha, então mover-se para trás, e finalmente voltar e continuar para frente uma vez mais³⁷ (COHEN & DRABKIN, 1966, p. 221-222, *apud* ÉVORA, 1993, p. 87).

Cabe frisar que a crítica de Filopono concentra-se em duas dificuldades inerentes ao que foi apresentado acima. Primeiramente, Filopono se questiona como o ar poderia deixar de mover-se segundo o impulso impresso pelo primeiro motor, e ao invés disso tomar a direção contrária; e por fim, como o ar voltaria exatamente para a parte de trás do projétil, voltando a impulsioná-lo, em vez de se dispersar no espaço. Por conta disso, Filopono rejeitou enfaticamente a primeira proposta apresentada por Aristóteles.

A segunda opção (na qual o ar empurrado com o projétil desloca-se por baixo deste mais rapidamente do que o movimento do corpo para o seu lugar natural,

³⁶ A ideia de substituição recíproca é denominada *antiperistasis*, termo que designa o processo pelo qual o ar ocupa o lugar do projétil, impelindo-o adiante e sendo, portanto, responsável pela manutenção do movimento do corpo. Fátima Évora cita o livro *A source book of greek science*, de Cohen e Drabkin, para esclarecer que tal termo “é usado geralmente para descrever os processos através dos quais ‘P₁ empurra P₂ para o lugar de P₃, P₂ empurra P₃ para o lugar de P₄, ... , P_{n-1} empurra P_n para o lugar de P₁’” (COHEN & DRABKIN, 1966, p. 221 nota, *apud* ÉVORA, 1993, p. 87).

³⁷ Tradução em português do trecho do livro *Commentary on Aristotle's Physics*, p. 639.3-642.9 (Vitelli), de Filopono, citado por Cohen e Drabkin em *A source book of greek science* (p. 221-222), e presente no texto de Évora.

mantendo-o assim em uma trajetória antinatural ou violenta) é considerada mais plausível por Filopono, mas igualmente equivocada. A objeção de Filopono é válida para as duas tentativas de explicar o movimento do projétil depois do lançamento, consistindo na suposição de que caso o ar seja capaz de manter uma flecha ou pedra em movimento mesmo após o primeiro motor não estar mais em contato com o corpo lançado, seria plausível que o ar poderia mover o projétil sem a necessidade de um primeiro motor. Conforme o trecho destacado por Évora (*ibid.*, p. 88), tratar-se-ia de

“com inúmeras máquinas, pôr uma grande quantidade de ar em movimento atrás destes corpos. Agora é evidente que quanto maior for a quantidade de ar movido e quanto maior for a força com que ele é movido, mais este ar empurraria a flecha ou pedra, e mais longe ele as atiraria. Mas o fato é que, ainda que você coloque a flecha ou pedra sobre uma linha ou ponto completamente destituído de espessura e ponha em movimento todo o ar detrás dos projéteis com toda força possível, o projétil não se moveria a uma distância de um único côvado”³⁸ (COHEN & DRABKIN, 1966, p. 223, *apud* ÉVORA, 1993, p. 88).

Em suma, ao invés de o meio (ar) ser o responsável pelo prosseguimento da trajetória antinatural do projétil, ele apenas retarda o movimento deste (ÉVORA, 1995a, p. 294). O movimento violento dos projéteis é causado por uma força que lhes é impressa no instante em que são lançados, sendo que “o ar que é empurrado, ou não contribui de forma alguma ou então muito pouco para este movimento de projétil” (PHILOPONOS, *in Phys.*, 642.3, *apud* ÉVORA, 1995a, p. 294).

Aristóteles recusou a ideia da existência do vazio porque ela seria incompatível com a sua dinâmica (ver tópico 1.6), acreditando que o meio (ar) era o responsável pelo movimento violento, algo que seria impossível no vazio, uma vez que este “não é um meio e não pode receber nem, portanto, transmitir e conservar o movimento” (KOYRÉ, 1986, p. 28). Filopono não enfrentou tal dificuldade, pois defendia que o movimento era causado por uma força incorpórea impressa ao corpo, sem a necessidade da ação do meio. Sob essa perspectiva, o movimento violento poderia persistir no vazio.

No caso dos movimentos naturais, cujo “motor é a própria natureza do corpo, a sua forma, que procura reconduzi-lo ao seu lugar” (*ibid.*, p. 26), o meio não desempenha

³⁸ Tradução em português do trecho do livro *Commentary on Aristotle's Physics* de Filopono, citado por Cohen e Drabkin em *A source book of greek science* (p. 223), e presente no texto de Évora.

o papel de conservar o movimento, mas apenas o de resistir a ele. Para Aristóteles, como o vazio não se constitui em um meio capaz de oferecer resistência ao movimento natural, este seria instantâneo, algo absurdo. Porém, a tese da existência do vazio não contradisse as concepções de Filopono acerca do movimento natural. Ao invés de postular que os corpos mover-se-iam o mais rápido possível para o seu lugar natural, conforme fez Aristóteles, Filopono propôs que uma força motriz seria responsável pelos movimentos naturais e violentos. Nesse caso, a velocidade de um corpo em direção a seu lugar não seria infinita, mas proporcional à força motriz, que também seria limitada:

Philoponos desenvolve uma “lei” de movimento segundo a qual a velocidade do movimento natural (tal como o de queda livre) e do movimento violento é proporcional à força motriz, enquanto a resistência do meio apenas reduz tal velocidade. A determinação da velocidade de um corpo móvel, de acordo com a “lei” de movimento de Philoponos, é dada pela diferença aritmética entre a força motriz e a resistência do meio (ÉVORA, 1995b, p. 81).

Ou seja, no caso do movimento no vazio, o único fator determinante seria a força motriz, já que não haveria a resistência do meio. Sendo a resistência nula, os corpos mover-se-iam enquanto durasse a força motriz, que por ser finita também implicaria em uma velocidade finita, dado que ambas seriam proporcionais. Portanto, a ideia de vazio não seria algo absurdo para Filopono. Ademais, percebe-se também porque ele parece não admitir a possibilidade de um movimento inercial:

Essa força motriz incorpórea, segundo Philoponos, não é uma coisa de natureza permanente, mas desaparece gradualmente, até mesmo no vazio. Esta diminuição se dá devido a uma dupla resistência: a) devido ao meio, b) devido a tendência do corpo pesado de ir para o seu lugar natural. Philoponos portanto permanece sustentando uma postura anti-inercial, pois se, de acordo com sua teoria, a força motriz incorpórea não pode durar para sempre, também o movimento não pode durar *ad infinitum* (*ibid.*, p. 80-81).

1.9 A questão do movimento segundo Thomas Bradwardine

A despeito das críticas, formuladas nomeadamente por Hiparco e Filopono³⁹, a física aristotélica continuou ditando os rumos da ciência medieval até o século XIII:

³⁹ A influência de Filopono manteve-se durante a Idade Média devido à aceitação de algumas de suas ideias por parte dos pensadores árabes. Diz Évora (1995b, p. 82): “Esta influência deu-se principalmente através dos árabes Avicena, ou Ibn Sina (980 – 1037), e Avempace, ou Ibn Badja (1106 – 1138), que advogaram a tese de que a lei do movimento de Aristóteles deveria ser substituída pela lei da diferença aritmética, tal qual propôs Philoponos”. Ou seja, ao invés de considerar que a velocidade de um corpo em

O aristotelismo, prolongado e completado pelo neoplatonismo greco-árabe, não oferecia somente aos Latinos os elementos de uma vasta síntese filosófica, mas uma interpretação coerente e completa, muitas vezes engenhosa, de todos os dados observáveis respeitantes ao universo corporal [...]. Se se acorda em chamar «física aristotélica» a esta imponente tentativa de explicação integral da ordem cósmica, pode dizer-se que esta física de modo nenhum fora posta em causa no século XIII (STEENBERGHEN, 1984, p. 145).

Todavia, o prestígio do aristotelismo diminuiu no decorrer do século XIV⁴⁰. Nesse século, um grupo de filósofos e de lógicos resolveu empreender um estudo matemático acerca do movimento. Devido ao fato de a maioria deles ter lecionado no *Merton College*, em Oxford, ficaram conhecidos como “mertonianos”, termo que posteriormente foi substituído por “calculadores” (LIBERA, 1990, p. 53), destacando assim a disposição desses pesquisadores em investigar a natureza sob uma perspectiva matemática. Eles distinguiram a cinemática e a dinâmica⁴¹, e em seguida puseram-se a tratar da primeira, por meio dos estudos sobre a velocidade, que estiveram no centro dos esforços de compreensão acerca do movimento dos corpos. A ideia era que se poderia atribuir um valor numérico para a velocidade (PIRES, 2008, p. 71). Ademais,

movimento é proporcional à razão entre a força motriz (F) e a resistência ou densidade do meio (R) ou, em outras palavras, que a velocidade do corpo é dada pelo quociente entre F e R ($v = F/R$), conforme defendia Aristóteles, Avicena e Avempace optaram por endossar a proposta de Filopono, segundo a qual a velocidade do corpo não era dada pelo quociente, mas sim pela diferença entre a força motriz e a resistência do meio ($v = F - R$). Sendo assim, apesar de as primeiras edições conhecidas da obra de Filopono acerca da física aristotélica datarem de 1535 (grego) e 1542 (latim), “há hoje fortes evidências com respeito a sua influência no desenvolvimento da filosofia da natureza anterior ao século XVI” (*ibid.*, p. 82).

⁴⁰ Antes disso, ainda no final do século XIII, a doutrina aristotélica conforme era ensinada na Faculdade de Artes da Universidade de Paris sofreu um claro revés quando, em 18 de janeiro de 1277, o papa João XXI pediu para que o bispo da cidade, Estêvão Tempier, conduzisse uma investigação acerca dos ensinamentos dos mestres de Artes da Universidade. Pouco mais de um mês depois, em 7 de março, houve a condenação de 219 proposições baseadas no aristotelismo, incluindo teses de Avicena (GILSON, 2007, p. 694), o tomismo (STEENBERGHEN, 1984, p. 133) e a tese averroísta da “dupla verdade”, que por sua vez “consistia em sustentar que uma mesma proposição podia ser considerada simultaneamente falsa, do ponto de vista da fê, e verdadeira, do ponto de vista da razão” (GILSON, 2007, p. 694). Além disso, condenaram-se as teses aristotélicas da impossibilidade do vácuo e de que Deus não poderia criar outros universos ou mover corpos celestes em linha reta. A ideia defendida pelo concílio era a de que Deus poderia fazer o que bem entendesse, exceto o que não fosse logicamente possível. “Atendo-se ao poder supremo de Deus, os escolásticos procuraram demonstrar que alternativas para uma grande variedade de explicações físicas de Aristóteles eram logicamente possíveis, e a posição dominante do sistema aristotélico não foi seriamente enfraquecida” (PIRES, 2008, p. 67). Ou seja, como se depreende da passagem destacada, apesar de a condenação de 1277 ter atingido o aristotelismo, tal filosofia ainda manter-se-ia forte por mais alguns séculos, até a revolução copernicano-galileana.

⁴¹ Os estudiosos de Oxford afirmaram que “o movimento poderia ser estudado tanto do ponto de vista da causa quanto do efeito” (PIRES, 2008, p. 71), ou seja, respectivamente sob uma perspectiva da dinâmica (relativa às causas) ou da cinemática (que leva em consideração apenas o efeito, ou seja, a mera descrição do movimento). A distinção entre cinemática e dinâmica é sintetizada por Bunge (2006, p. 58), que diz: “Uma explicação cinemática de mudança é puramente descritiva, enquanto uma explicação dinâmica aponta para mecanismo(s) de mudança(s)”.

estabeleceram a distinção entre *movimento uniforme* (cuja velocidade é constante) e movimento uniformemente disforme, que na linguagem moderna recebeu o nome de *movimento uniformemente acelerado*. No caso deste último, não é a velocidade que é constante, mas sim a *variação* da velocidade. William Heytesburg (1313 – 1372), membro do *Merton College*, “definiu com precisão o movimento uniformemente acelerado como aquele em que se adquirem incrementos iguais de velocidade em períodos iguais de tempo” (*ibid.*, p. 71).

É nessa tradição de pensamento na qual se insere Thomas Bradwardine⁴², matemático do *Merton College* e arcebispo de Canterbury durante a primeira metade do século XIV (*ibid.*, p. 78). Enquanto Aristóteles buscava investigar o movimento comparando o deslocamento dos corpos, Bradwardine defendeu que os movimentos podiam ser analisados por si mesmos, comparados por intermédio de suas grandezas (velocidades). Trata-se de um estudo que envolve proporções, designado simplesmente por *cálculo* (CUSTÓDIO, 2004, p. 36). Mas, para Aristóteles,

“a questão relevante não era o cálculo, mas investigar quais as determinantes naturais que explicam, objetivamente, a experiência sensível do aumento ou da diminuição da velocidade do movimento. Esta investigação podia ser feita considerando, por um lado o efeito e, por outro, a causa. Não se trata ainda de investigar o ato do movimento por ele mesmo, como propõe Bradwardine, mas de fazê-lo sob o ponto de vista do móvel, no primeiro caso, e sob o ponto de vista do motor, num segundo caso; sendo que a estes dois estudos somava-se um terceiro, relativo às causas” (*ibid.*, p. 36).

De acordo com a passagem acima, Aristóteles estudou o movimento tomando por referência a coisa movida ou aquilo que a movia, conforme o caso. Em relação ao movimento natural, a investigação é feita comparando-se as distâncias percorridas pelos corpos em movimento retilíneo uniforme, ou seja, sob o ponto de vista do móvel, considerando-se o efeito (a observação do deslocamento dos corpos) ao invés da causa/motivo que fez com que determinado móvel se deslocasse (algo que será considerado quando o móvel que estiver se deslocando for um projétil, como se verá adiante). Contudo, o estudo do movimento dos corpos em trajetória natural também leva em consideração o estudo das *causas* (o terceiro estudo do qual fala Custódio no final

⁴² As datas de nascimento e morte de Bradwardine são bastante incertas. O período de sua vida ora é compreendido entre os anos de 1290 e 1343 (PIRES, 2008, p. 78); 1295 a 1349 (LIBERA, 1990, p. 53) ou de cerca de 1290-1300 a 1349 (CUSTÓDIO, 2004, p. 11).

da passagem), entendidas aqui como aquilo que justifica um movimento mais ou menos veloz (algo que depende da gravidade do móvel, de sua inclinação para baixo). Para Aristóteles, a gravidade do móvel seria diretamente proporcional à velocidade:

Se o móvel do movimento que se pretende estudar é um grave, sua potência motora decorre de sua inclinação para baixo, e a gravidade do móvel é diretamente proporcional a sua velocidade. Assim, dois corpos igualmente pesados, homogêneos (constituídos dos mesmos elementos naturais) terão a mesma velocidade. Entre dois corpos com a mesma grandeza, mas de constituição diferente, o de menor gravidade cairá mais lentamente (*ibid.*, p. 37-38).

Assim como os corpos mais graves caem mais rapidamente, “entre dois corpos leves, o de maior leveza subirá mais rapidamente” (*ibid.*, p. 38). Em suma, o estudo das causas (das inclinações “para baixo” ou “para cima” dos móveis) permitia que Aristóteles comparasse dois movimentos naturais e percebesse qual deles era o “mais intenso” (*ibid.*, p. 37). A velocidade de um corpo em movimento natural é igual a sua tendência de deslocar-se para o seu lugar natural, dividida pela resistência do meio (*ibid.*, p. 38), relação que pode ser expressa pela seguinte notação: $v = F/R$ ⁴³.

No que concerne ao movimento violento, a investigação ocorre analisando-se a causa/motivo do deslocamento (arremesso), sendo um estudo sob a perspectiva do motor, de “sua capacidade para sustentar um certo grau de intensidade da velocidade” (*ibid.*, p. 39), considerando-se também a tendência do corpo em dirigir-se ao seu lugar natural. Para Aristóteles, “o movimento violento é igual à capacidade do motor para sustentar o móvel a um certo grau de intensidade, dividido pela grandeza da matéria do corpo” (*ibid.*, p. 39).

Por sua vez, Bradwardine acreditava que os movimentos poderiam ser comparados no que tange às suas grandezas (velocidades). O peso e a leveza eram considerados qualidades dos corpos compostos (ou seja, dos corpos formados por alguma combinação dentre os elementos terra, água, ar e fogo), embora fossem consideradas forças agindo em direções contrárias no interior de um mesmo corpo composto. Uma dessas forças, porém, sobrepunha-se a outra:

⁴³ Ver nota de rodapé 39, nas páginas 37 e 38 do presente texto.

A qualidade com o número maior de graus era, portanto, designada de força motriz e sua oposta de resistência interna. Na queda de um corpo, peso e leveza funcionavam como força motriz e resistência interna respectivamente. No movimento para cima os papéis eram invertidos (PIRES, 2008, p. 78).

Ou seja, o que determina a força motriz, e conseqüentemente a resistência interna de um corpo composto é a predominância de elementos “pesados” ou “leves” na constituição do corpo, de modo que aqueles dotados com uma quantidade maior de graus de leveza têm-la-ão como força motriz, sendo o peso a resistência interna do corpo. Da mesma forma, quando o peso é a qualidade predominante, ele se torna a força motriz do corpo como um todo, tendo por resistência a leveza. A ideia é que a velocidade é diretamente proporcional ao peso e inversamente proporcional à leveza⁴⁴.

Segundo Pires (*ibid.*, p. 79), Bradwardine aparentemente foi pioneiro no estudo matemático do movimento, tendo buscado relacionar força, resistência e velocidade. O resultado desses esforços consistiu na elaboração de um *Tratado sobre as proporções*, onde Bradwardine tratou acerca da “precisa relação matemática entre a magnitude da força motora de Aristóteles, a força do meio resistente e a velocidade alcançada pelo corpo em movimento” (RONAN, 1987, p. 156). Apesar de considerar a proposta de Aristóteles, na qual a velocidade é igual à força dividida pela resistência ($v = F/R$), Bradwardine notou que tal relação implicava movimento quando $F = R$, uma vez que a velocidade seria superior a zero ($v = 1$)⁴⁵. Após refutar todas as alternativas existentes, por notar que nenhuma delas condizia com a ideia aristotélica de que só há movimento quando a força é superior à resistência, Bradwardine propôs que o valor da velocidade dependia da razão entre a força motora e a resistência interna em uma unidade de matéria presente em um corpo composto, ao invés de considerar a relação entre força e resistência de um corpo como um todo.

A partir do estudo da razão entre elementos pesados e leves das unidades de matéria que compõem corpos compostos homogêneos (corpos que possuem proporcionalmente a mesma quantidade de elementos, mesmo que sejam de tamanhos

⁴⁴ De acordo com Pires (2008, p. 78), “era razoável supor que o corpo com menor grau de leveza cairia com maior velocidade”, e assim, quanto mais leve o corpo, menor sua velocidade.

⁴⁵ Além disso, quando a força fosse menor do que a resistência ($F < R$), ainda assim a velocidade seria maior do que zero, e conseqüentemente haveria movimento, embora mínimo.

diferentes), Bradwardine concluiu que dois corpos homogêneos de tamanhos e pesos distintos cairiam no vácuo com a mesma velocidade, algo que ocorre

“porque unidades de matéria em um corpo composto homogêneo são idênticas umas às outras e, portanto, cada unidade de matéria tem a mesma razão entre elementos pesados e elementos leves (ou seja, a mesma razão entre a força motora e a resistência interna)” (PIRES, 2008, p. 79).

Mas apesar de os estudos de Bradwardine representarem uma novidade em relação àquilo que era feito até o momento⁴⁶, a sua base ainda não era experimental, mas meramente lógica, assim como a dos demais estudiosos do *Merton College*. Diz Fara (2014, p. 101): “Para deduzir equações, os calculadores de Merton usavam as ferramentas mentais da análise lógica e baseavam-se em experimentos puramente imaginários”. Não obstante, tais pesquisas influenciaram as experiências de Galileu séculos depois (*ibid.*, p. 102).

1.10 Jean Buridan

De acordo com Pires (2008, p. 76), vários filósofos negaram que o movimento dos projéteis fosse causado por uma força impressa ao próprio corpo no instante do lançamento, tese rejeitada inclusive pelos pensadores do *Merton College*, que acreditavam que o projétil mover-se-ia devido a uma “potência” proveniente do meio. Entretanto, a ideia que começou a ser desenvolvida ainda no século II a.C. por Hiparco, e que foi aprimorada na Idade Média por Filopono, segundo a qual o motor transmitia algo ao movente, voltou a ser defendida em meados do século XIV, sobretudo pelo intelectual francês Jean Buridan (1300 – 1358), discípulo do frade inglês Guilherme de Ockham (1285 – 1347), e que se tornou reitor da Universidade de Paris em 1328 (BERTOLDO, 2004, p. 31). Todavia, não existem evidências de que Buridan teve acesso aos escritos de Filopono:

⁴⁶ Isso foi possível porque a velocidade passou a ser considerada como uma medida de movimento, a qual poderia ser atribuída um valor numérico (PIRES, 2008, p. 71). Citando Lindberg, Pires explica a origem da ideia da velocidade como medida de movimento: “A ideia fundamental era que qualidades ou formas podiam existir em vários graus ou intensidades: não existe um grau único para quente ou frio, mas uma variação de intensidade, ou grau, indo do muito frio ao muito quente. Além disso, foi reconhecido que formas ou qualidades podiam variar do mesmo modo; isto é, elas podiam ser intensificadas ou enfraquecidas. Quando essa discussão geral de qualidades e suas variações foi transferida para o caso particular do movimento local a ideia de velocidade apareceu” (LINDBERG, 1992, *apud* PIREs, 2008, p. 72).

[...] existe uma certa controvérsia sobre a influência da “teoria da força motriz incorpórea” de Philoponus sobre a “teoria da força motriz”, que se tornou amplamente aceita no século XIV e que foi posteriormente elaborada por Jean Buridan (1300?-1358) sob o nome de “teoria do impetus”. Isso porque os escritos de Philoponus sobre este tema só se tornaram conhecidos em 1535, numa versão grega, e em 1542, em latim (ÉVORA, 1993, p. 91-92).

Não obstante o provável desconhecimento das teses de Filopono, Buridan também foi um comentador da obra de Aristóteles, e assim como o filósofo neoplatônico, criticou a explicação do Estagirita para o movimento dos projéteis. Dentre os argumentos utilizados para contestar a solução aristotélica para o problema do deslocamento dos projéteis, Buridan analisa a possibilidade da *antiperistasis*⁴⁷, ou seja, de que o ar movido pelo projétil no ato do lançamento realiza um movimento contrário e então impulsiona o corpo, mantendo-o em movimento. Buridan demonstra a sua discordância em relação à tese mencionando o caso hipotético de um navio em movimento, no qual haveria um marinheiro sobre o convés. Esse marinheiro não se sentiria impelido adiante pelo ar, mas ao invés disso sentiria que o ar a sua frente oferecer-lhe-ia resistência. Ademais, caso o homem estivesse posicionado atrás de alguma carga (como grãos ou madeira), ele seria empurrado violentamente entre tal carga e o ar atrás dele, na hipótese de que o ar teria o poder de locomover o navio. Segundo Buridan, isso é refutado pela experiência⁴⁸.

Em linhas gerais, trata-se de considerar que o ar resiste ao movimento dos corpos, enquanto que, para Buridan, uma força motriz (*virtus motiva*) ou ímpeto (*impetus*) impresso ao corpo seria responsável pelo deslocamento dos projéteis:

[...] devemos dizer que em uma pedra ou em outro projétil há algo impresso que é a força motriz (*virtus motiva*) daquele projétil. E isto é evidentemente melhor do que recorrer à afirmação de que o ar continua a mover aquele projétil. Pois o ar parece mais resistir. Portanto, parece-me que deve ser dito que o motor, ao mover um corpo móvel, imprime um certo ímpeto (*impetus*) ou uma certa força motriz (*vis motiva*) ao corpo móvel [no qual age o *impetus*] na direção para a qual o motor estava movendo o corpo móvel, para cima ou para

⁴⁷ Ver nota de rodapé 36, na página 35 do presente texto.

⁴⁸ Esse exemplo do navio, utilizado por Buridan para refutar a hipótese da *antiperistasis*, está contida no Livro VIII, questão 12, de uma obra intitulada *Questiones super Octo Physicorum Libros Aristotelis*, publicada em Paris em 1509. Tal texto foi traduzido por Marshall Clagett em uma obra chamada *The Science of Mechanics in the Middle Age*, da qual Évora (1993) se utiliza para traduzir alguns trechos do trabalho de Buridan, nomeadamente acerca da crítica à *antiperistasis* e da defesa da teoria do *impetus* (CLAGETT, 1979, p. 532-534 *apud* ÉVORA, 1993, p. 93-94).

baixo ou lateralmente ou circularmente. Quanto mais rapidamente o motor mover aquele corpo móvel, mais forte será o *impetus* que ele lhe imprimirá. É por esse *impetus* que a pedra é movida depois que o atirador pára de movê-la (CLAGETT, 1979, p. 534-535 *apud* ÉVORA, 1993, p. 94)⁴⁹.

Nessas palavras, Buridan apresentou a sua “teoria do *impetus*”. Da mesma forma como fizera Filopono, Buridan admitiu que a força motriz reduzir-se-ia devido à resistência do meio, mas contrariamente ao filósofo neoplatônico, defendeu que tal impulso seria de natureza permanente, e que só não se mantinha *ad infinitum* no projétil por causa de forças externas contrárias. Ou seja, Buridan admitiu que o movimento pudesse diminuir, embora não aceitasse que tal processo tratar-se-ia de algo espontâneo, conforme parece ter sido para Filopono⁵⁰. Para Buridan, o *impetus* seria de natureza permanente (*res nature permanentis*) caso não houvesse a resistência do meio e a gravidade, que atuariam no enfraquecimento dessa força motriz:

Porém, esse *impetus* é continuamente reduzido pela resistência do ar e pela gravidade da pedra, que a inclina em uma direção contrária àquela a qual o *impetus* estava naturalmente predisposto a movê-la. Assim, o movimento da pedra torna-se continuamente mais lento, e finalmente esse *impetus* diminui tanto que a gravidade da pedra o vence e move a pedra para baixo, para seu lugar natural (CLAGETT, 1979, p. 534-535 *apud* ÉVORA, 1993, p. 94)⁵¹.

O trecho acima evidencia que Buridan não renunciou completamente à física aristotélica, pois manteve a ideia de que os corpos possuíam lugares naturais para os quais tenderiam a deslocar-se. Ademais, o filósofo também defendia a finitude do Universo, o que implicava a impossibilidade do movimento no vácuo, pois nesse caso (em que a resistência seria nula), o corpo mover-se-ia indefinidamente, possivelmente

⁴⁹ Tradução feita por Fátima Évora do texto de Buridan constante na obra citada de Marshall Clagett, que o traduziu para o inglês.

⁵⁰ Conforme exposto no tópico 1.8, Filopono postulou que haveria uma força motriz responsável pelo movimento dos corpos, tanto natural quanto violento (p. 37), e que tal força seria proporcional à velocidade em quaisquer casos, com a resistência do meio atuando para diminuir essa velocidade (ÉVORA, 1995b, p. 81). Assim, para Filopono, a velocidade do corpo é igual a sua força motriz menos a resistência do meio ($v = F - R$), o que possibilita o movimento no vácuo, uma vez que nesse caso a velocidade seria igual à força motriz ($v = F$), já que a resistência seria nula ($R = 0$). Enquanto durasse a força motriz, o movimento persistiria, mas como a primeira seria finita, o deslocamento do corpo não se manteria indefinidamente (p. 37). De acordo com Évora, a força motriz incorpórea de Filopono “não é uma coisa de natureza permanente, mas desaparece gradualmente, até mesmo no vazio” (ÉVORA, 1995b, p. 80). Em suma, o desaparecimento da força motriz é um processo natural, diferente do que acreditava Buridan.

⁵¹ Ver nota 49.

em linha reta com velocidade uniforme, extrapolando os limites do Universo, algo absurdo (PIRES, 2008, p. 77).

A ideia de que o *impetus* seria uma qualidade permanente conferida ao projétil pelo responsável pelo movimento (*ibid.*, p. 76) torna pertinente sua comparação com a inércia, ou seja, com a hipótese da persistência do movimento. Alguns autores, como Cherman e Mendonça (2010, p. 60), consideram que a noção de *impetus* pode ser vista como antecessora do conceito de inércia. De fato, existe certa similaridade entre ambos, nomeadamente no que se refere à tese de que o movimento persistiria eternamente na ausência de alguma força contrária. Não obstante, é preciso atentar-se às sutilezas envolvidas na formulação de cada conceito, relacionadas com o contexto histórico do desenvolvimento da ciência, no qual o *impetus* estaria atrelado a uma visão de mundo mais marcadamente aristotélica, enquanto que a ideia de inércia desenvolvida a partir da obra de Galileu já está inserida no panorama da revolução científica. Fundamentalmente, trata-se de considerar sob qual paradigma a dicotomia movimento/repouso está sendo pensada, para que então possam ser formuladas questões a respeito. Dito de outro modo, no caso do *impetus* deve-se ter em mente que Buridan era adepto da teoria aristotélica de que haveria lugares naturais, e sendo assim que os corpos visariam o repouso. Logo, o “ímpeto” explicaria porque o projétil continuaria sua trajetória antinatural, contrariando sua tendência a repousar. Nesse caso, o movimento (natural ou violento) representa uma situação de desequilíbrio (KOYRÉ, 1986, p. 23).

Com a revolução científica, não foi mais preciso justificar como o movimento manter-se-ia (o que, segundo Buridan, era resultado do *impetus*), dado que um corpo em movimento age naturalmente, e a ocorrência de repouso é que teria de ser explicada. Não obstante, alguns historiadores defendem que a teoria do *impetus*, mesmo incorreta, foi o primeiro passo da revolução científica (PIRES, 2008, p. 77), ideia que parece ser corroborada por Röd (2004, p. 534), ressaltando, porém, que a aceitação do princípio de inércia torna o *impetus* desnecessário:

Com a formulação do princípio da inércia, por obra de Galileu e Descartes, [a teoria do *impetus*] tornou-se caduca. Com efeito, admitindo-se que todo corpo conserva o seu estado de movimento, enquanto outras causas não interferem, então não é mais necessário aventar uma força que atua no corpo no curso do seu movimento. A

teoria do ímpeto não leva em consideração o princípio da inércia, mas preparou a sua formulação enquanto removeu a doutrina do movimento de Aristóteles.

De fato, as concepções de Buridan acerca do movimento diferem das de Aristóteles porque o primeiro buscou aplicar a teoria do *impetus* tanto para o movimento terrestre quanto para o celeste, fazendo com que as dinâmicas dos dois mundos fossem regidas pelo mesmo conjunto de leis (ÉVORA, 1993, p. 95). De acordo com Buridan, “a causa do movimento no céu é um *impetus* que Deus impôs em cada uma das esferas celestes ao criar o mundo. O *impetus*, nesse caso, não diminui, segundo ele [Buridan], porque não há resistência capaz de corrompê-lo” (PIRES, 2008, p. 77). A unificação das mecânicas terrestre e celeste contrariava a separação entre os mundos sublunar e supralunar, que segundo Aristóteles seriam governados por leis distintas (ÉVORA, 1993, p. 40). Entretanto, ao postular que o *impetus* era conferido por Deus aos corpos celestes, Buridan aproximou-se das ideias aristotélicas a respeito do movimento na região supralunar, já que para o Estagirita tal deslocamento seria provocado por um primeiro motor eterno e imóvel (ARISTÓTELES, 2012, p. 310, 1073a25). O interessante é que, nesse caso, ambos defenderam que o corpo celeste estaria continuamente em movimento, ora por ação de um primeiro motor (Aristóteles), ora devido a um *impetus* de origem divina (Buridan). Clagett (1979, p. 524-525 *apud* ÉVORA, 1993, p. 95) relaciona esse *impetus* com a ideia de inércia:

O uso do *impetus* para explicar o movimento contínuo do Céu é o mais próximo que Buridan chegou da ideia inercial da mecânica de Newton. Dificilmente se pode duvidar que o *impetus* é análogo à inércia posterior, apesar das diferenças ontológicas.

1.11 Nicolas Oresme e a defesa do movimento da Terra

Discípulo de Buridan, Nicolas Oresme (falecido em 1382)⁵² foi outro grande mestre parisiense do século XIV, e tal como o seu mentor, dedicou-se a estudar a natureza. Todavia, discordou de algumas ideias do mestre, inclusive em relação à teoria do *impetus*. Para Oresme, o *impetus* não era uma qualidade permanente conforme pensava Buridan, mas algo que se consumia com o tempo, entendendo-o como

⁵² A data de nascimento de Oresme é incerta, tendo ocorrido por volta de 1320 (RONAN, 1987, p. 157). Évora (1993, p. 96) aponta o ano de 1323, enquanto que para Pires (2008, p. 70), Oresme nasceu em 1325.

“uma forma transitória da força impulsora que conduzia o projétil adiante, depois de este ter recebido o impulso inicial. Duraria, porém, apenas certo tempo e, quando tivesse sido consumido, o projétil cessaria de se mover e cairia no chão” (RONAN, 1987, p. 157).

Notável estudioso, Oresme não se limitou apenas a discutir os pormenores da teoria do *impetus*, ocupando-se também com a discussão acerca da possibilidade do movimento da Terra. Ao defender essa hipótese, foi novamente de encontro à doutrina de Buridan, segundo a qual a Terra mantinha-se estacionária, assim como acreditava Aristóteles (PIRES, 2008, p. 69). Para sustentar sua tese, Buridan ilustrava-a com o seguinte exemplo, mencionado por Pires (*ibid.*, p. 70):

[...] ao lançarmos uma pedra para cima em uma Terra em movimento, a pedra não volta ao ponto de lançamento, pois enquanto ela está no ar a Terra terá se deslocado sob ela. Como uma pedra sempre retorna ao ponto de partida, podemos afirmar que a Terra não se move.

Por sua vez, Oresme insurgiu-se contra esse argumento dizendo que a pedra (ou qualquer outro corpo) realiza dois tipos de movimentos simultaneamente, tanto ao ser arremessada quanto ao retornar ao local do qual foi lançada. A ideia é que enquanto se move verticalmente para cima e depois para baixo, a pedra também efetua um movimento horizontalmente circular (*ibid.*, p. 70), estando concomitantemente em trajetória retilínea e circular. Com isso, a pedra acompanha o movimento da Terra⁵³, e assim cai precisamente no mesmo ponto a partir de onde foi arremessada. Entretanto, tal solução levanta outro problema: por que nós não percebemos esse movimento composto do corpo? Mas Oresme também tinha uma resposta para isso, explicada mediante o exemplo de um navio, que ilustra a ideia da relatividade do movimento. Resumidamente, o argumento pode ser descrito do seguinte modo: uma pessoa que estivesse a bordo do navio, mas sem ter consciência do movimento deste, pensaria que ao deslizar sua mão em linha reta ao longo do mastro, ela estaria em movimento retilíneo, quando na verdade a mão realizaria um movimento composto: mover-se-ia de forma retilínea para baixo e também horizontalmente, seguindo a direção do navio, que por sua vez deslocar-se-ia para leste. O ponto é que o tripulante é partícipe do

⁵³ Trata-se da ideia de que um corpo qualquer, tal como uma flecha ou pedra, “é parte do sistema mecânico da rotação da Terra, tal qual um homem que move sua mão verticalmente para cima e para baixo em um mastro é parte do sistema mecânico do navio” (CLAGETT, 1979, p. 599 *apud* ÉVORA, 1993, p. 98).

movimento da embarcação, e como tal não percebe que está em movimento juntamente com ela, de tal forma que, conforme pontua Lindberg (1992, *apud* PIRES, 2008, p. 70):

Dentro do navio pode haver todo tipo de movimento – horizontal, em zigue-zague, para cima, para baixo, em todas as direções – e eles parecem ser exatamente o mesmo daqueles em que o navio estivesse em repouso. Então, se um homem nesse navio caminhasse para oeste menos rapidamente do que o navio estivesse se movendo para o leste, pareceria para ele como se estivesse se movendo para o oeste quando na verdade estaria se movendo para o leste, e similarmente como no caso precedente, todos os movimentos pareceriam o mesmo como se a Terra estivesse em repouso.

A ideia de que as coisas participam do movimento da Terra permitiu que Oresme enfrentasse outra objeção à tese do deslocamento terrestre, segundo a qual haveria um vento forte se o planeta girasse. Oresme respondeu que isso não acontece porque o ar também girava com a Terra (*ibid.*, p. 71). Porém, segundo Évora (1993, p. 99), havia ainda a necessidade de lidar com o argumento aristotélico de que cada corpo simples possui apenas um princípio motor. No caso da Terra, por exemplo, tal movimento seria retilíneo e para baixo; mas caso ela estivesse em rotação, sua trajetória seria antinatural e exigiria o contato direto e permanente de um motor externo, para a manutenção desse movimento contrário à natureza, em consonância com a filosofia de Aristóteles. Oresme contornou a dificuldade propondo que a Terra deslocar-se-ia naturalmente de modo circular, dispensando a necessidade de uma força externa para mantê-la em movimento, já que este seria natural. Consequentemente, este também seria o movimento natural dos corpos terrestres, na qualidade de partícipes do deslocamento da Terra, embora não possamos perceber a trajetória circular dos corpos a nossa volta, já que compartilhamos de tal movimento. Com isso, Oresme opôs-se a Aristóteles, uma vez que este defendia que o movimento circular era característico dos corpos celestes, enquanto que o retilíneo era próprio dos corpos terrestres; contudo, isso não representou uma ruptura completa, pois Oresme admitiu que os objetos terrestres também poderiam se deslocar naturalmente de maneira retilínea e para baixo, desde que não estivessem em seu lugar natural (*ibid.*, p. 100). Em resumo, Oresme defendeu a existência de dois tipos de movimento natural para os corpos terrestres: o circular, devido ao fato de que a Terra mover-se-ia circularmente; e o retilíneo (para baixo), que ocorreria quando o corpo buscasse retornar ao seu lugar natural.

Mas a despeito de suas reflexões, Oresme não assumiu a tese de que era a Terra que estava em movimento, ao invés do Céu. Segundo ele, embora a hipótese do movimento terrestre seja mais razoável do que supor o movimento celeste, isso estaria em conflito com a fé cristã (*ibid.*, p. 101). Tal postura foi facilitada pelo fato de que naquela época não havia provas que sustentassem o movimento terrestre, de modo que defender esse ponto de vista não significava excluir a possibilidade de que a Terra estivesse imóvel (PIRES, 2008, p. 71). Então, Oresme decidiu-se a favor da interpretação contrária, de que o Céu estaria em movimento, e não a Terra, mas ponderando que não é possível provar o movimento celeste nem pela razão e nem pela experiência (ÉVORA, 1993, p. 101).

Todavia, os argumentos de Oresme a favor da relatividade do movimento, utilizados para fundamentar a tese do movimento terrestre, assemelham-se aos que foram utilizados por Copérnico no século XVI. Gilson (2007, p. 850) defendeu que Oresme superou Buridan, ao ter descoberto a verdade que, através de outros estudiosos, seria transmitida a Galileu. Além disso, uma vez que “anuncia de longe as pesquisas de Descartes e Galileu, Nicolau Oresme é o predecessor direto de Copérnico” (*ibid.*, p. 850). Entretanto, a teoria de Oresme ainda estava incompleta, pois lhe faltou a percepção da propriedade inercial do movimento dos corpos:

Falta a Oresme, apenas, a idéia de inércia, que permite justificar o acompanhamento da Terra pelos projéteis. Na concepção de Oresme, os projéteis parecem acompanhar a Terra apenas por pertencerem à sua esfera, por formarem com ela uma certa unidade. É possível que Oresme admitisse que, se a Terra cessasse de mover-se, os corpos à sua volta também cessariam imediatamente seu movimento (MARTINS, 1986, p. 73).

CAPÍTULO 2. O DESENVOLVIMENTO DA NOÇÃO DE INÉRCIA NO PERÍODO GALILEANO

2.1 A revolução científica

A retomada dos questionamentos acerca da explicação aristotélica para o movimento dos projéteis no decorrer do século XIV, representada pelo desenvolvimento da “teoria do *impetus*”, antecipava as mudanças que levariam a uma nova visão do mundo físico no decorrer dos séculos seguintes, incluindo-se o fortalecimento da hipótese do movimento terrestre, a suposição de que o Universo seria infinito, a refutação da ideia de que haveria uma esfera celeste constituída por estrelas fixas⁵⁴, a elaboração do princípio de inércia, a formulação das três leis de Kepler acerca do movimento planetário e, por fim, a síntese das leis de Kepler na Lei da Gravitação Universal de Newton. Toda essa efervescência científica ocorreu entre fins do século XV e XVII:

Nos últimos anos, os historiadores deram-se conta de que a mudança de maior alcance nascida do Renascimento foi a evolução do método científico de investigação. Deram, por isso, ao período de desenvolvimento da ciência entre 1500 e 1700 um novo nome, o de Revolução científica. [...] Deste modo, os historiadores reconhecem que o desenvolvimento do pensamento científico entre 1500 e 1700 foi decisivo na criação da civilização moderna. [...] Em resumo, a Revolução científica entre 1500 e 1700 foi, em primeiro lugar, uma revolução intelectual: ensinou os homens a pensar diferentemente (BRONOWSKI; MAZLISH, 1983, p. 123-124).

O presente tópico não objetiva uma exposição pormenorizada dos avanços ocorridos durante a revolução científica, mas somente frisar no que consistiu a mudança de mentalidade que caracterizou esse período, representada pela contestação do aristotelismo. De fato, poder-se-ia afirmar que a evolução científica

“se processa à margem do espírito renascente e à margem da Renascença propriamente dita. E não é menos verdadeiro o fato de que a destruição da síntese aristotélica constitui a base preliminar e

⁵⁴ A visão tradicional do mundo físico incluía a crença de que este seria limitado por uma esfera de estrelas fixas. Entretanto, em 1572, apareceu uma nova estrela na constelação da Cassiopeia, tendo sido observada por Tycho Brahe (1546 – 1601). Por dois anos, tal estrela foi mais brilhante que todas as demais, e por vezes podia ser vista até durante o dia. Na passagem do século, outra estrela surgiu, e foi estudada por Johannes Kepler (1571 – 1630). Tratava-se de supernovas (explosões de estrelas velhas), um evento raríssimo em qualquer galáxia, e no contexto da Revolução Científica, contribuíram para solapar a crença de que o Universo possuía uma esfera de estrelas fixas (BRONOWSKI; MAZLISH, 1983, p. 131).

necessária dessa evolução. [...] na síntese aristotélica, o mundo forma um Cosmo físico bem ordenado, Cosmo onde qualquer coisa se acha no seu lugar, em particular a Terra, localizando-se no centro do Universo, em virtude da própria estrutura desse Universo. É evidente que se fazia necessária a destruição dessa concepção do mundo para que a astronomia heliocêntrica pudesse alçar seu voo” (KOYRÉ, 2011a, p. 47).

O trecho acima, destacado de um texto intitulado “A contribuição científica da Renascença”⁵⁵, não foi o único no qual Koyré relacionou o advento da revolução científica ao declínio do sistema de Aristóteles. Em uma conferência intitulada “Da influência das concepções filosóficas sobre a evolução das teorias científicas”⁵⁶, Koyré voltou a abordar o assunto, destacando que a revolução foi caracterizada pela

“Destruição do Cosmos, ou seja, substituição do mundo finito e hierarquicamente ordenado de Aristóteles e da Idade Média por um Universo infinito, ligado pela identidade de seus elementos componentes e pela uniformidade de suas leis [e pela] Geometrização do espaço, ou seja, substituição do espaço concreto (conjunto de “lugares”) de Aristóteles pelo espaço abstrato da geometria euclidiana daqui para frente considerado como real” (KOYRÉ, 2011b, p. 266).

Um dos aspectos fundamentais dessa nova concepção de mundo foi justamente a tese da infinitude do universo, defendida principalmente por Giordano Bruno (1548 – 1600), tema do tópico 2.3; enquanto que os primórdios da uniformidade das leis cosmológicas já podem ser percebidos quando Buridan busca aplicar a sua teoria do *impetus* às regiões terrestre e celeste⁵⁷. A geometrização do espaço também marcou a ruptura com a tradição, dado que a cosmologia de Aristóteles se baseava na observação sensível, considerando “problemática a identificação do espaço concreto do Cosmo, que para ele [Aristóteles] é finito e ordenado, com o espaço da geometria” (ÉVORA, 1993, p. 36), enquanto que a revolução científica valorizou as formulações matemáticas como expressões do mundo real.

Resumidamente, podemos dizer que a revolução científica se constituiu em uma mudança da “imagem do mundo” (REALE; ANTISERI, 1990, p. 185). É importante

⁵⁵ Transcrição de uma conferência realizada em 1949 durante a XV Semana de Síntese, e publicada em 1951 (KOYRÉ, 2011a, p. 43).

⁵⁶ Texto de uma comunicação que ocorreu durante a reunião da *American association for the advancement of science*, em Boston, 1954 (KOYRÉ, 2011b, p. 261).

⁵⁷ Ver página 46.

destacar que tal transformação não ocorreu de maneira repentina, mas que a física aristotélica foi gradualmente superada:

Peça por peça, trabalhosa, mas progressivamente, caem por terra os pilares da cosmologia aristotélico-ptolemaica: assim, por exemplo, Copérnico coloca o Sol no centro do mundo, ao invés da Terra; Tycho Brahe, mesmo sendo anticopernicano, elimina as esferas materiais que, na velha cosmologia, arrastavam os planetas com seu movimento e substitui a ideia de *orbe* (ou esfera) material pela moderna ideia de órbita; Kepler apresenta uma sistematização matemática do sistema copernicano e realiza a revolucionária passagem do movimento circular (“natural” e “perfeito”, na velha cosmologia) para o movimento elíptico dos planetas; Galileu mostra a falsidade da distinção entre física terrestre e física celeste, fazendo ver que a Lua é da mesma natureza da Terra e, entre outras coisas, cria novos fundamentos com a formulação do princípio da inércia; Newton, com sua teoria gravitacional, unificaria a física de Galileu com a de Kepler (*ibid.*, p. 185-186, grifo dos autores).

Além disso, nessa época, a mera observação dos fenômenos físicos, nos termos aristotélicos, deu lugar ao *método experimental*, entendido como um processo bem definido através do qual seria possível testar hipóteses predeterminadas, através de procedimentos experimentais (alterações controladas das condições do fenômeno), possibilitando a aceitação ou refutação de tais teses. Assim como a recusa da ciência aristotélica, o método experimental constitui-se em uma das características cruciais da revolução científica, pois por meio dele os pesquisadores podem descobrir fatos verdadeiros acerca do mundo, além de propiciar o controle sistemático de teorias. A ciência torna-se um projeto coletivo, dado que o progresso científico depende da colaboração de diversas pessoas (a passagem destacada acima é um exemplo disso). Ademais, com o advento da revolução, as teorias anteriores deixaram de ser simplesmente descartadas, pois passaram a ser substituídas por teorias mais amplas e logicamente mais fortes, passíveis de um controle mais efetivo (*ibid.*, p. 187). Pode-se dizer que

“o traço mais característico desse fenômeno que é a ciência moderna resume-se precisamente no *método*, que, por um lado, exige imaginação e criatividade de hipóteses e, por outro lado, o controle público dessas imaginações. Em sua essência, a ciência é pública – e o é por questões de método. É a ideia de ciência metodologicamente regulada e publicamente controlável que exige as novas instituições científicas, como as academias, os laboratórios, os contatos internacionais (basta pensar em todos os epistolários importantes). E é com base no método experimental que se funda a *autonomia da ciência*” (*ibid.*, p. 187, grifos dos autores).

O exemplo mais evidente da adoção do método científico ocorreu por meio do trabalho de Galileu, que assim reafirmou a autonomia da ciência em relação à fé e à filosofia (*ibid.*, p. 187). Contudo, tal discussão não será objeto desse tópico, que visou apenas uma breve apresentação do ambiente intelectual do qual Galileu foi uma das principais figuras. No decorrer do capítulo, alguns assuntos mencionados aqui serão abordados mais detalhadamente, tal como a teoria copernicana e a ideia de que o Universo é infinito, uma vez que são importantes para o debate acerca do desenvolvimento da noção de inércia.

2.2 Concepções copernicanas acerca do movimento terrestre

Um dos maiores expoentes da substituição da visão de mundo geocêntrica em favor da heliocêntrica, Nicolau Copérnico (1473 – 1543) também endossou a tese do movimento da Terra, assim como Oresme. Consciente de que a publicação do tratado *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (*As Revoluções dos Orbes Celestes*), sua mais importante obra, poderia trazer-lhe problemas perante as autoridades eclesiásticas, Copérnico manteve o manuscrito em seu poder durante anos, conforme relata o Prefácio do livro, dedicado ao papa Paulo III (COPÉRNICO, 1984, p. 6). Tal temor foi ocasionado pela defesa copernicana do movimento terrestre, conforme se pode notar logo no início do Prefácio:

Seguramente bem posso, Santíssimo Padre, ter a certeza de que certas pessoas, ao ouvirem dizer que eu atribuo determinados movimentos ao globo terrestre, nestes meus livros escritos acerca das revoluções das esferas do Universo, imediatamente hão-de gritar a necessidade de eu ser condenado juntamente com tal opinião (*ibid.*, p. 5).

A leitura da primeira parte do Prefácio poderia conduzir à crença de que Copérnico não visou defender o movimento da Terra como uma verdade científica inquestionável, mas apenas examinar tal hipótese apoiando-se em observações astronômicas. O caso é que o suposto enfraquecimento da tese deveu-se porque a Apresentação inserida antes do Prefácio foi escrita pelo responsável pela supervisão da obra, um pastor luterano chamado Andreas Osiander (1498 – 1552)⁵⁸. O fato é que as ideias de Copérnico não estavam sendo bem aceitas entre alguns filósofos e teólogos,

⁵⁸ Osiander (em alemão, Hossmann) foi um dos primeiros luteranos, e era aficionado por matemática e astronomia (LOPARIC, 2008, p. 232).

sendo que o próprio Lutero chamara Copérnico de louco. Antevendo que a publicação do livro poderia desencadear reações contrárias, Osiander se antecipou e escreveu a Copérnico em 20 de abril de 1541, “sugerindo como saída a rejeição aberta da interpretação realista da sua teoria” (LOPARIC, 2008, p. 233). Em uma parte da carta, Osiander defende que não é necessário que as hipóteses sejam verdadeiras, desde que subsidiem cálculos que permitam *salvar os fenômenos*⁵⁹. Diz Osiander:

Sempre acreditei que as hipóteses não são artigos de fé, mas bases para cálculos: de modo que não importa que sejam falsas, desde que esses últimos reproduzam exatamente as aparências dos fenômenos. Com efeito, se seguirmos as hipóteses de Ptolomeu, quem nos dirá se o movimento irregular do Sol se dá em razão de um epiciclo ou de uma excentricidade, uma vez que os dois dispositivos podem explicar os fenômenos? Seria, portanto, desejável que abordasses de leve esse assunto na tua Introdução. Dessa maneira, poderás apaziguar os peripatéticos e os teólogos cuja oposição temes (ROSEN, 1971, p. 23-24, *apud* LOPARIC, 2008, p. 233).

Parece que Copérnico não acatou a sugestão de Osiander, pois um relato de Kepler assegura que Copérnico acreditava “dever publicar suas opiniões abertamente, mesmo que isso causasse danos à ciência” (ROSEN, 1971, p. 403, *apud* LOPARIC, 2008, p. 233-234). Tal visão é corroborada pelo fato de que

“no grande livro do Astrônomo, a palavra hipótese nunca é utilizada com o significado de <<conjectura>> [...] Para Nicolau Copérnico, porém, uma <<hipótese>> teria sempre o sentido de <<proposição fundamental>> e basilar, sendo portanto, e de certo modo, indiscutível” (ALBUQUERQUE, *in* COPÉRNICO, 1984, p. VIII).

Ou seja, para Copérnico uma hipótese seria a expressão fidedigna do mundo real, o que caracteriza o *realismo*⁶⁰ do autor, enquanto que Osiander assume uma postura com viés claramente *instrumentalista*⁶¹, pois acredita que as hipóteses não precisam descrever a verdade acerca do mundo, mas corroborar cálculos que descrevam

⁵⁹ Salvar os fenômenos ou as aparências consiste em estar de acordo com aquilo que é observado. Trata-se da postura de “colocar hipóteses tais que os fenômenos observados delas resultariam, mas sem procurar saber se essas hipóteses são verdadeiras ou falsas, ou mesmo declarando-as expressamente falsas e tomando-as apenas como um meio cômodo de expressão, de previsão ou de cálculo” (LALANDE, 1993, p. 976).

⁶⁰ O realismo é a postura segundo a qual as teorias descrevem, ou procuram descrever, como o mundo é de fato (CHALMERS, 1993, p.187).

⁶¹ A posição instrumentalista sustenta que “o componente teórico da ciência não descreve a realidade. As teorias são compreendidas como instrumentos projetados para relacionar um conjunto de estado de coisas observáveis com outros” (*ibid.*, p.187-188).

os fenômenos tais como aparecem. De acordo com Edward Rosen, estudioso da obra copernicana, Osiander utilizou a palavra “hipótese” de maneira ambígua, de modo que significasse não apenas a realidade das coisas, mas também conjecturas sobre o mundo (embora esse segundo sentido fosse desautorizado pela obra de Copérnico):

“parece ser justo depreender-se que Osiander jogou com o duplo sentido da palavra, admitindo expressamente, e de acordo com a sua significação conjectural, não ser sequer ‘necessário que estas hipóteses [as de Copérnico] sejam verdadeiras nem até sequer verosímeis, mas bastará apenas que conduzam a um cálculo conforme às observações (...)’” (*ibid.*, p. VIII).

O fato é que a Apresentação escrita por Osiander foi incluída no livro de Copérnico, e não se sabe se o astrônomo reagiu ao texto, e como o teria feito⁶². Entretanto, é manifesto que o conteúdo da Apresentação causou repúdio em cientistas como Galileu e Kepler, que afirmaram que “embora de modo velado, Copérnico [...] era quase acusado de ter proposto uma Astronomia revolucionária, e talvez sem fundamento, visto ser hipotética” (*ibid.*, p. IX). Kepler foi ainda mais adiante, ao garantir que Copérnico não apenas acreditava na verdade de suas hipóteses, mas que também provaria isso (*ibid.*, p. IX). Porém, a despeito da manifestação de autores como Giordano Bruno⁶³ e Kepler, por muito tempo acreditou-se que a Apresentação fora escrito pelo próprio Copérnico (LOPARIC, 2008, p. 236).

O Prefácio escrito por Copérnico assegura que a sua motivação para pensar em formas alternativas para calcular os movimentos das esferas do Universo deu-se porque “os matemáticos não estão de acordo consigo próprios na investigação de tais movimentos” (COPÉRNICO, 1984, p. 7). Vale ressaltar que, na época, isso trazia grandes problemas, nomeadamente no que diz respeito à definição do calendário. O Prefácio menciona que a reforma do Calendário eclesiástico, discutida durante o Concílio de Latrão, não pôde ser efetuada porque “a duração dos anos e dos meses, bem como os movimentos do Sol e da Lua, ainda não estavam convenientemente medidos”

⁶² Trata-se de um assunto controverso. De acordo com uma carta de Giese a Rheticus, datada de 26 de julho de 1543, o exemplar do *De Revolutionibus* foi entregue a Copérnico em seu leito de morte, de modo que o astrônomo não pôde tomar providências em relação à obra. Mas uma hipótese posterior (1609) assegurou que Copérnico recebeu as provas do livro um ano antes da publicação, e que teria ficado revoltado com o escrito de Osiander, embora não existam indícios de que tivesse feito algo para impedir que o texto fosse incluído no *De Revolutionibus* (LOPARIC, 2008, p. 234).

⁶³ Giordano Bruno era partidário da interpretação realista do sistema copernicano, tendo sido um dos primeiros a denunciar o caráter apócrifo da Apresentação (*ibid.*, p. 235).

(*ibid.*, p. 11). O texto também aponta que os métodos utilizados pelos matemáticos da época nem sempre eram satisfatórios para explicar os movimentos aparentes dos astros:

[...] aqueles que se baseiam nos círculos concêntricos, embora tenham demonstrado que a partir deles se podem estabelecer alguns variados movimentos, não puderam, apesar disso, tirar daí nenhuma certeza que desse segura resposta aos fenômenos. Quanto àqueles que imaginaram os círculos excêntricos, embora pareçam ter dado, em grande parte, solução aos movimentos aparentes com cálculos apropriados, admitiram, no entanto, por vezes, muitos daqueles que parecem opor-se aos princípios fundamentais acerca da regularidade do movimento (*ibid.*, p. 7-8).

Na passagem acima, nota-se a preocupação com cálculos que pudessem “salvar os fenômenos”, tarefa considerada essencial e que, ver-se-á logo abaixo, foi alegada como justificativa para a defesa copernicana do movimento da Terra, uma vez que a tese da rotação terrestre poderia servir de base para demonstrar melhor o movimento dos demais corpos celestes. Copérnico diz que embora a ideia da mobilidade da Terra parecesse-lhe absurda, acabou por considerar tal hipótese, na esperança de “encontrar demonstrações mais seguras do que as deles [matemáticos] para as revoluções das esferas celestes” (*ibid.*, p. 9); embora acreditasse de fato que sua hipótese descrevia o mundo real. Na sequência:

E deste modo, admitindo os movimentos que eu à Terra atribuo na obra infra, com perguntas e longas observações, descobri que, se estabelecermos relação entre a rotação da terra e os movimentos dos restantes astros, e os calcularmos em conformidade com a revolução de cada um deles, não só se hão-de deduzir daí os seus fenômenos mas até se hão-de interligar as ordens e grandezas de todas as esferas e astros assim como o próprio céu (*ibid.*, p. 9).

O estudo dos movimentos dos outros astros, citado acima, é empreendido a partir do Livro II, e mantém-se até a última parte (Livro VI) do tratado *As Revoluções dos Orbes Celestes*, enquanto que no Livro I há a descrição das posições das esferas e dos movimentos da Terra. Copérnico sintetiza os objetivos da obra da seguinte forma:

[...] comparo os movimentos dos demais planetas e de todas as esferas com o movimento da Terra, para que daí se possa concluir até que ponto será possível conservar os movimentos e comportamentos aparentes dos restantes planetas e esferas, se os confrontarmos com os movimentos da Terra (*ibid.*, p. 10).

Assim, logo no início do Livro I, Copérnico começa a tecer suas considerações acerca do Universo como um todo, relacionando-as com a hipótese do movimento terrestre. No Capítulo I, o astrônomo afirma que o Universo é esférico, citando, dentre outros motivos, que o Universo tende a ser delimitado pela forma esférica (*ibid.*, p. 17). Aqui, nota-se uma dupla concordância copernicana com a astronomia aristotélico-ptolomaica, para a qual o Universo era esférico e finito. Após afirmar no capítulo seguinte que a Terra também é esférica, Copérnico prossegue em suas investigações e sentencia no Capítulo IV a circularidade dos movimentos dos corpos celestes, justificando que “o movimento apropriado de uma esfera é uma rotação num círculo, reproduzindo a sua forma no próprio acto como corpo extremamente simples em que não se pode indicar princípio nem fim” (*ibid.*, p. 25).

Depois desse panorama inicial, Copérnico avança na argumentação a favor de sua tese, propondo no Capítulo V investigar se, além da forma esférica, a Terra é dotada de movimento, bem como qual sua posição no Universo, de modo a identificar “a razão certa dos fenómenos celestes” (*ibid.*, p. 29). O astrônomo admite o consenso em torno da ideia da imobilidade da Terra no centro do Universo, mas pondera que “se considerarmos a questão mais atentamente, veremos que não está de modo nenhum resolvida, e por isso, incontestavelmente não deve ser posta de lado” (*ibid.*, p. 29). Segundo Copérnico, as mudanças de posição visíveis devem-se ao movimento da coisa, do observador, ou de ambos. Ou seja, o deslocamento de algo só é perceptível em relação a outrem que ou não se move, ou o faz de modo distinto ao primeiro. O movimento, portanto, é relativo, sendo imperceptível na ausência de algo que sirva de referência para atestá-lo, conforme pode ser notado na seguinte passagem:

Na verdade, entre objectos que se movem igualmente na mesma direcção, não se nota qualquer movimento, isto é, entre a coisa observada e o observador. Ora a Terra é o lugar donde aquela rotação celeste é observada e se apresenta à nossa vista. Portanto, se algum movimento for atribuído à Terra, o mesmo movimento aparecerá em tudo que é exterior à Terra, mas na direcção oposta. É o caso em primeiro lugar da rotação diurna (*ibid.*, p. 29).

O trecho acima defende que a Terra é o ponto fixo a partir do qual a rotação celeste é percebida; e que caso o planeta esteja em movimento, também parecerá que os corpos externos à Terra se deslocam, embora em direção oposta, como se o planeta “deixasse para trás” os demais corpos celestes ao passar por eles. Por sua vez, tais

corpos também não estão fixos em algum ponto do Universo, mas percorrendo suas respectivas órbitas, afastando-se da Terra devido a tais movimentos e ao hipotético deslocamento do nosso planeta. Contudo, supor o movimento terrestre implicava uma dificuldade em relação à ausência de uma mudança aparente de posição das estrelas fixas enquanto a Terra passa para o lado oposto de sua órbita (paralaxe estelar anual). Copérnico reconhece que tal mudança deveria existir, mesmo que seja irrelevante, e justifica que ela não é percebida pela falta de instrumentos capazes de medi-la, somado ao fato de que a esfera das estrelas fixas estaria muito distante da Terra, o que tornaria o desvio insignificante (GUIMARAENS NETO, 2004, p. 83).

Além da questão da paralaxe, Copérnico enfrentou outros problemas em sua defesa do movimento terrestre. Dentre eles, destaca-se a tese ptolomaica (contida no *Almagesto*, I, 7) de que se a Terra se movesse com uma rotação diária, tal movimento teria de ser bastante veloz, de modo que os objetos terrestres dispersar-se-iam no espaço, ao invés de permanecerem em seus lugares. A rapidez com a qual a Terra deslocar-se-ia impediria que os corpos caíssem em linha reta em direção aos seus lugares naturais. Além disso, segundo Copérnico, “veríamos as nuvens e tudo o que está impresso no ar continuamente arrastados para Oeste” (COPÉRNICO, 1984, p. 38). Entretanto, o astrônomo lida com tais objeções supondo que “se alguém for de opinião que a Terra se move, dirá por certo que o movimento é natural e não violento” (*ibid.*, p. 39). Dessa forma, a rotação terrestre não precipitaria a desintegração do planeta, uma vez que tal movimento seria natural. Nas palavras de Copérnico:

[...] as coisas que são segundo a Natureza têm efeitos contrários às que são provocadas pela violência. Com efeito, os objectos a que a força ou o impulso são aplicados têm necessariamente de ser destruídos e não subsistirão durante muito tempo, mas as coisas que são feitas pela Natureza estão no seu estado natural e continuam na sua forma perfeita. É pois em vão que Ptolomeu teme que a Terra venha a dissipar-se, assim como todos os objectos terrestres, devido a uma rotação produzida pela força da Natureza, que é muito diferente do que pode ser realizado pela arte e pelo engenho humanos (*ibid.*, p. 39)⁶⁴.

Após afastar a interpretação de que haveria desordens caso a Terra estivesse em rotação, Copérnico continuou a defender tal hipótese, deixando para os físicos a tarefa

⁶⁴ Os tradutores utilizaram a palavra “estado” em um sentido geral, que não é o mesmo da física moderna.

de discutir se o mundo é finito ou infinito (*ibid.*, p. 40)⁶⁵. O astrônomo questionava a razão pela qual ainda se acreditava que era o Universo que se movia, uma vez que não era possível saber se ele era ou não limitado, ao invés de aceitar que a Terra (limitada por uma superfície esférica) que se desloca, já que esta “tem uma superfície naturalmente própria para ele [movimento]” (*ibid.*, p. 40). Em seguida, Copérnico volta a insistir na ideia de que o movimento é relativo, com a qual conseguia justificar porque não perceberíamos a rotação terrestre. Ele acreditava que os objetos terrestres eram partícipes do movimento da Terra, tese também defendida por Oresme. Para corroborar seu argumento, o astrônomo utilizou o exemplo de um navio em movimento, tal como fizera Oresme⁶⁶, mas com as devidas modificações. Diz Copérnico:

E por que não havemos de admitir que a rotação diária é aparente no Céu mas real na Terra? E é assim que as coisas se passam na realidade [...]. Na verdade, quando um navio navega com bonança, tudo o que está fora dele parece aos navegantes mover-se pelo reflexo daquele movimento e, por outro lado, pensam que estão imóveis com todos os objectos junto deles. Naturalmente, a mesma coisa acontece com o movimento da Terra de maneira que todo o Universo parece rodar (*ibid.*, p. 40-41).

Para Copérnico, as nuvens e outros corpos semelhantes (uma pequena parte do ar) também estão em movimento, juntamente com a Terra e a água que compõe a esfera terrestre. O astrônomo concluiu que as coisas que de alguma forma estão ligadas à Terra deslocam-se com ela quer porque o ar está “misturado com a matéria terrestre e aquosa, quer porque o movimento do ar é adquirido, pois partilha com a Terra da sua rotação incessante, devido à contiguidade e à ausência de resistência” (*ibid.*, p. 41).

Partindo do pressuposto⁶⁷ de que a Terra estaria em movimento, coube a Copérnico investigar quais as características de tal deslocamento. Ele concluiu que se

⁶⁵ Essa passagem do Livro I, Capítulo VIII, parece enfraquecer o que Copérnico dissera no Capítulo I do mesmo Livro, quando afirmou que o Universo tende a ser delimitado por uma esfera (COPÉRNICO, 1984, p. 17).

⁶⁶ A esse respeito, consultar as páginas 47 e 48 do capítulo anterior.

⁶⁷ Embora tivesse apresentado um conjunto de argumentos que reforçavam a tese do movimento terrestre, Copérnico continuou referindo-se a ela como uma hipótese útil para a explicação dos fenômenos celestes. Tal postura pode ser notada no início do Capítulo XI do Livro I da obra supracitada, quando o astrônomo propõe-se a explicar tal movimento: “Uma vez que tantos [...] concordam em que a Terra se move, vamos agora explanar brevemente esse movimento, pois que os fenômenos são por ele explicados considerando-o como uma hipótese” (*ibid.*, p. 55). Contudo, na interpretação de Albuquerque, “no grande livro do Astrônomo, a palavra hipótese nunca é utilizada com o significado de <<conjectura>>”

trataria de um movimento tríplice: o primeiro consistiria na rotação terrestre em torno de seu próprio eixo, próprio dos dias e das noites; o segundo tratar-se-ia da revolução anual da Terra em torno do centro ocupado pelo Sol, em uma órbita situada entre as revoluções de Vênus e de Marte⁶⁸ (*ibid.*, p. 55); e o terceiro seria um movimento em inclinação, uma revolução anual em sentido oposto, através da qual Copérnico foi capaz de explicar a desigualdade dos dias e das noites. Sem tal recurso, “o Solstício do Verão ou do Inverno, os Equinócios, a Primavera e o Inverno ou qualquer outra estação, permaneceriam sempre sem mudança” (*ibid.*, p. 56).

Após a exposição precedente acerca das concepções copernicanas sobre o movimento terrestre, cumpre relacionar quais as suas implicações para a discussão acerca da conservação do movimento. Inicialmente, é importante destacar que, para Copérnico, os corpos terrestres são dotados de um duplo movimento: o circular (ou horizontal), pelo fato de que acompanham o movimento da Terra; e o retilíneo (vertical), que ocorre quando os objetos não estão em seus lugares naturais, seja quando se afastam de tais lugares devido a um movimento violento, seja quando buscam voltar ao repouso. Segundo o astrônomo:

[...] o corpo simples permanece na sua posição natural e na sua unidade. Quando está nesta posição não pode ter nenhum outro movimento excepto o circular, pois que o corpo simples permanece totalmente em si mesmo como um corpo em repouso. O movimento rectilíneo manifestar-se-á nos objectos que abandonam a sua posição natural ou são arrastados para fora dela ou de qualquer modo de lá saem. [...] o movimento rectilíneo só ocorre nos corpos que não se encontram no seu próprio estado nem em harmonia perfeita com a sua natureza (*ibid.*, p. 42).

Tal ideia também fora sustentada por Oresme, conforme exposto no tópico 1.11. Ambos ainda não tinham a noção de inércia, mas as considerações copernicanas a respeito das causas dos movimentos circular e retilíneo corroboram a interpretação de que ele pudesse ter admitido a conservação do movimento circular, pois a causa de um movimento dessa ordem manter-se-ia constante na visão do astrônomo, o que não

(ALBUQUERQUE, *in* COPÉRNICO, 1984, p. VIII). Nessa perspectiva, ao tratar do movimento terrestre como uma “hipótese”, Copérnico estaria assumindo a realidade de tal movimento.

⁶⁸ Segundo Copérnico, as revoluções de Vênus e de Marte dar-se-iam, respectivamente, em 9 meses e 2 anos (COPÉRNICO, 1984, p. 52).

ocorreria com deslocamentos em linha reta. Copérnico esclarece a questão nos seguintes termos:

Contudo, o movimento circular processa-se sempre sem alteração porque a sua causa é constante. Pelo contrário, os objectos que se movem em linha recta perdem a causa que os acelera e os levou ao seu próprio lugar. Deixam então de ser leves ou pesados, cessando esse movimento (*ibid.*, p. 42).

A despeito da novidade representada pelas ideias desenvolvidas em *As Revoluções dos Orbes Celestes*, frontalmente opostas às concepções defendidas à época pela comunidade científica, o temor de Copérnico não se concretizou. A obra impressa chegou-lhe as mãos em seu leito de morte, no dia 24 de maio de 1543 (PIRES, 2008, p. 88), e apenas em 1616 a Congregação do *Index* suspendeu a circulação do livro (*ibid.*, p. 124-125), dezesseis anos após a morte de um dos seus defensores mais entusiastas, Giordano Bruno (1548 – 1600), tema do tópico seguinte.

2.3 Giordano Bruno e a infinitude do mundo

[...] o mundo de Copérnico é finito. Além disso, parece, do ponto de vista psicológico, bastante normal que o homem que deu o primeiro passo, o de deter o movimento da esfera das estrelas fixas, hesitasse antes de dar o segundo, o de dissolvê-la em um espaço ilimitado; bastava a um só homem mover a Terra e aumentar o mundo a ponto de torná-lo incomensurável – *immensum*. Pedir-lhe que o tornasse infinito seria realmente demais (KOYRÉ, 2006, p. 32).

Conforme visto no tópico anterior, Copérnico trabalhou com a ideia de que o Universo seria finito, já que este seria delimitado por uma esfera (COPÉRNICO, 1984, p. 17), mas de certa forma deixou a questão em aberto, para que os físicos resolvessem-na (*ibid.*, p. 40). No trecho destacado acima, Koyré salienta que Copérnico defendeu a finitude do mundo, sugerindo que após ter dado o primeiro passo para uma nova compreensão acerca do Universo, o astrônomo pudesse ter hesitado diante da possibilidade de defender a hipótese da infinitude. Contudo, não demorou muito para que a tese do infinito viesse a ser sustentada por outros pensadores, para os quais a “esfera das estrelas fixas” não existia, enquanto que “o céu estrelado, no qual os astros se situam a diferentes distâncias da Terra, ‘estendia-se infinitamente para o alto’” (KOYRÉ, 2006, p. 33). Segundo Koyré, isso ocorreu pela primeira vez em 1576, por meio do texto *Descrição perfeita dos orbes celestes segundo a antigüíssima doutrina*

dos pitagóricos, recentemente ressuscitada por Copérnico e reforçada por demonstrações geométricas, da autoria de Thomas Digges, que “foi o primeiro copernicano a substituir a concepção de seu mestre, a de um mundo fechado pela de um mundo aberto” (*ibid.*, p. 34).

Entretanto, Giordano Bruno foi o adepto mais conhecido da ideia de um Universo infinito. Em sua obra *Sobre o Infinito, o Universo e os Mundos*, escrita e publicada em 1584, Bruno defende a infinitude do Universo e a ideia de que os mundos são inumeráveis (LOPES, 2010, p. 48). O próprio título do livro encerra a concepção do autor de que mundo e Universo não são a mesma coisa, diferindo de Copérnico, pois este não faz tal diferenciação. No texto, distingue-se “universo infinito e mundos finitos. O mundo é finito, composto de planetas, de satélites (Sol e Lua). Mas quantos mundos existem no universo não se sabe, são inumeráveis” (*ibid.*, p. 50). Em outras palavras:

[...] se em nossa parte do espaço infinito existe um mundo, um astro-Sol cercado de planetas, o mesmo ocorre em todo o universo. Nosso mundo não é o universo, mas somente esta *machina*, cercada por um número infinito de outros “mundos”, semelhantes ou análogos – os mundos dos astros-sóis espalhados pelo oceano etéreo do céu (KOYRÉ, 2006, p. 45).

Bruno utiliza-se da forma dialógica para defender as suas teses. Em seu supracitado livro, composto de cinco diálogos, os interlocutores debatem sobre se o Universo é finito ou infinito. O personagem Filóteo representa as ideias do autor, e começa sua argumentação indagando aos demais “onde estaria o mundo” caso o mundo fosse finito, pois este estaria limitado pelo nada, e como tal deveria estar contido nesse nada. Segundo Filóteo: “Se você [Aristóteles] afirma que não existe nada; o céu, o mundo, por certo, não existem em lugar algum” (BRUNO, 1978, p. 16). Conseqüentemente, o mundo seria algo que não se encontra (*ibid.*, p. 16). Ademais, Filóteo rejeita o recurso retórico de supor que fora do mundo haveria um ente intelectual e divino (Deus) ao invés do vácuo, pois seria difícil “entender como uma coisa incorpórea, inteligível e sem dimensões possa ser o lugar duma coisa dimensionada” (*ibid.*, p. 16). De modo muito claro, o personagem rejeita a hipótese:

Filóteo – [...] Com efeito, é absolutamente impossível que [...] você [Aristóteles] possa levar-me a afirmar, com real intenção, que exista tal superfície, tal limite, tal extremidade além da qual não exista nem corpo nem vácuo; mesmo que ali estivesse Deus, porque a divindade

não tem por função encher o vácuo, e, por consequência, não tem, de modo algum, a função de terminar o corpo; porque tudo o que se diz terminar ou é forma exterior ou é corpo continente (*ibid.*, p. 16).

Além do mais, Filóteo considera “inconveniente” a suposição de que além do céu exista o nada, também designado por ele como vácuo. Para Filóteo, esse vácuo seria desprovido de forma, mas estaria limitado “do lado de cá”, ou seja, por um Universo finito. Segundo o personagem, é mais difícil pensar em algo assim do que considerar o Universo como sendo infinito e imenso. Assumir a finitude do Universo implica necessariamente em ter de admitir a existência do vazio (*ibid.*, p. 17). Adiante, um interlocutor chamado Fracastório reforça os argumentos de Filóteo, ao concluir:

Fracastório – [...] Portanto, uma vez que segundo o nosso modo de ver e a nossa experiência o universo não acaba, nem termina no vácuo [...], devemos concluir logicamente assim: mesmo que todas as outras razões fossem iguais, veríamos que a experiência é contrária ao vácuo e não ao pleno (*ibid.*, p. 18).

Nos demais diálogos da obra, Bruno prossegue em sua defesa da infinitude do Universo, tendo Filóteo como seu principal porta-voz. Além disso, o autor se ocupa em examinar e refutar as ideias contrárias a sua hipótese, valendo-se do debate entre os personagens, método que também seria utilizado por Galileu em alguns de seus escritos. Entretanto,

“Galileu jamais citou o nome de Giordano Bruno, fosse em suas obras publicadas, fosse em seus manuscritos ou correspondência pessoal. [...] É pouco plausível que Galileu não tenha conhecido a obra tão polêmica de Bruno, que defendia idéias tão semelhantes às suas. Até mesmo a forma de diálogo, utilizada por Bruno em suas obras mais populares, será empregada por Galileu. Não é possível que não houvesse influência alguma de Bruno em seu pensamento e em sua obra, mas jamais saberemos o quanto Galileu deve a ele” (MARTINS, 1986, p. 75-76).

A inexistência de qualquer referência a Bruno nos trabalhos ou cartas de Galileu faz com que uma possível influência do primeiro sobre os escritos galilaicos seja tomada apenas como uma hipótese difícil de ser comprovada. Não obstante, a tese revolucionária da infinitude do Universo trouxe implicações para o desenvolvimento futuro da noção de inércia, já que ao conceber um Universo infinito, Bruno eliminou os obstáculos para se pensar que um corpo poderia mover-se continuamente em linha reta:

Enquanto o Universo fosse imaginado como uma esfera fechada e finita, não podia surgir a idéia de um corpo que se movesse indefinidamente em uma linha reta. Tal corpo teria finalmente de sair fora do mundo. Em um universo infinito como proposto por Digges e Bruno tal dificuldade não aconteceria (PIRES, 2008, p. 93).

2.4 A formação inicial de Galileu

O ambiente de grandes mudanças na compreensão do mundo físico, que paulatinamente reivindicava a substituição de uma visão atrelada à física de Aristóteles em favor de interpretações baseadas na experiência, foi crucial para que Galileu Galilei (1564 – 1642) desenvolvesse suas pesquisas científicas. Filho do músico Vincenzo Galilei, Galileu era natural de Pisa, mas sua família mudou-se para Florença quando o jovem tinha aproximadamente dez anos. Vincenzo desejava que o filho estudasse medicina, e para isso Galileu estudou com os monges Camaldulenses em Florença, até ser admitido na Universidade de Pisa, em 1581. Segundo Drake (1981, p. 44), o início da trajetória de Galileu como estudante universitário foi marcada por conflitos com seus mestres, o que já incluía, inclusive, algumas contestações acerca da filosofia aristotélica:

Numa nota que escreveu muitos anos depois, [Galileu] falou da sua dúvida, ao começar a estudar a filosofia da natureza de Aristóteles, de que os corpos caíam realmente com velocidades proporcionais ao seu tamanho. Tinha visto pedra de saraiva, de tamanhos muito diferentes, bater na terra ao mesmo tempo, e que o senso comum pensaria terem começado a cair juntas, de cerca da mesma altura. De acordo com a concepção de Aristóteles, as pedras maiores teriam chegado primeiro e as mais pequenas depois. Não era isso o que se via (*ibid.*, p. 44).

Além de interessar-se por questões de filosofia, tais como a exemplificada na passagem acima, Galileu entusiasmou-se também pela matemática. Ainda durante a juventude, quando estudava medicina em Pisa, Galileu assistiu a algumas aulas de geometria euclidiana, ministradas por um matemático ligado ao grão-duque da Toscana, que fizeram com que o rapaz passasse a estudar por conta própria os *Elementos* de Euclides. Não agradou a Vincenzo que o filho estivesse se concentrando em problemas matemáticos ao invés de dedicar-se à medicina, pois ele próprio era versado em matemática e, portanto, sabia que Galileu não ganharia muito dinheiro se investisse em tal aptidão (PIRES, 2008, p. 115). Todavia, o jovem prosseguiu com seus estudos de matemática e filosofia, deixando a medicina em segundo plano, tendo abandonado a

Universidade em 1585 sem obter o diploma, devido a problemas financeiros (*ibid.*, p. 116).

Galileu não desistiu de suas pesquisas matemáticas. Contudo, os primeiros escritos galileanos dos quais se tem notícia não representaram uma ruptura com o sistema aristotélico então vigente. Drake (p. 45) comenta que Galileu elaborou manuscritos relativos a problemas físicos e cosmológicos, possivelmente para serem utilizados em aulas, mas cujo conteúdo nada representava de novo em relação aos conhecimentos da época. Além disso, nesses escritos Galileu tratou da astronomia copernicana, mas a rejeitou. Ainda de acordo com Drake (p. 45-46), embora Galileu tivesse contestado algumas conclusões aristotélicas concernentes à física quando era estudante, ele ainda não se opusera seriamente à filosofia da natureza de Aristóteles.

Em 1586, ano seguinte ao seu desligamento da Universidade, Galileu escreveu o seu primeiro ensaio científico, composto em italiano (*La Bilancetta*)⁶⁹, e cujo tema era a balança hidrostática (ÉVORA, 1994, p. 10) que fora inventada por ele (PIRES, 2008, p. 116). Com tal equipamento, Galileu buscava determinar o peso específico dos corpos, tendo sido muito influenciado por Arquimedes (GEYMONAT, 1997, p. 11). Ademais, Galileu deu uma contribuição à ciência arquimediana que era um avanço em relação ao próprio Arquimedes (DRAKE, 1981, p. 48). Tratava-se da descoberta de meios que facilitavam o cálculo utilizado para determinar o centro de gravidade dos sólidos (baricentro)⁷⁰, sendo que “a localização do centro de gravidade de uma forma geométrica complexa é um problema matemático desafiador” (MACLACHLAN, 2008, p. 21). Com esse trabalho, Galileu obteve o apoio do matemático Guidobaldo del Monte (1545 – 1607), de Urbino, que reconhecendo o talento do jovem, esforçou-se para ajudá-lo a conseguir uma nomeação como professor de matemática.

Enquanto não tinha um emprego garantido, Galileu ministrou aulas particulares de matemática em Florença e Siena (DRAKE, 1981, p. 46). Em 1589, por influência de

⁶⁹ O supracitado ensaio não foi publicado antes da morte de Galileu, mas seu conteúdo era do conhecimento de pessoas próximas ao autor (GEYMONAT, 1997, p. 11). Existe uma tradução em português feita por Pierre H. Lucie e publicada nos *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 9, p. 105-107, 1986.

⁷⁰ Os teoremas concernentes ao baricentro dos corpos foram descobertos possivelmente em 1586 e 1587, embora só tenham sido publicados em 1638, na forma de apêndice ao *Discorsi* (GEYMONAT, 1997, p. 11).

Guidobaldo del Monte, Galileu foi convidado a ensinar na Universidade de Pisa (a qual deixara anos antes, sem conseguir se formar), mas tal posição não era lucrativa⁷¹. A Universidade e Galileu firmaram um contrato com duração de três anos, e pelo menos durante esse período o jovem professor poderia usufruir de certa autonomia financeira, embora não ganhasse muito.

De qualquer forma, os anos em que lecionou em Pisa foram frutíferos para Galileu, que nas horas vagas continuava a dedicar-se ao estudo dos problemas do movimento, esforço que culminaria na série de textos que o próprio autor reuniu no manuscrito intitulado *De motu antiquiora* (Do movimento). Entretanto, Galileu percebeu que algumas das teorias contidas no ensaio não estavam completamente de acordo com a experiência, e por essa razão resolveu postergar a publicação do texto, com o intuito de aperfeiçoar as teorias futuramente. A versão final do trabalho é composta por 23 capítulos, nos quais Galileu criticou a explicação de Aristóteles para a queda dos corpos e propôs uma alternativa arquimediana (MACLACHLAN, 2008, p. 22)⁷².

Nessa fase de sua produção científica, Galileu foi muito influenciado pelo matemático veneziano Giambattista Benedetti (1530 – 1590), um anti-aristotélico que foi um dos maiores defensores da teoria do ímpeto. Segundo Geymonat (1997, p. 15), a leitura mais importante de Galileu durante o período em que lecionou em Pisa (1589 – 1592) foi um trabalho de Benedetti intitulado *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, publicado em Turim em 1585, e que consistia em um conjunto de artigos, cartas e tratados curtos. Na supracitada obra, Benedetti sustentou enfaticamente a teoria do ímpeto, rejeitando os argumentos aristotélicos relativos ao problema do arremesso (KOYRÉ, 2011a, p. 144).

⁷¹ Drake (1981, p. 48) aponta que o estudo da matemática não era muito valorizado em Pisa, algo que parece evidente quando se compara o salário que Galileu recebia (sessenta florins por ano) com os rendimentos dos professores de filosofia, cuja remuneração anual era de seiscentos florins ou mais (MACLACHLAN, 2008, p. 22).

⁷² Geymonat (1997, p. 14) observa que as conclusões das pesquisas que originaram o *De motu* foram incluídas nos trabalhos posteriores de Galileu. Exemplo disso é a última parte do *De motu*, que consiste em uma exposição sobre a força da percussão, estudo que foi retomado por Galileu décadas depois em seu *Discorsi*, cujo final consiste em um princípio de jornada (a Sexta), intitulada “Da Força de Percussão”. Segundo Mariconda, trata-se de um “vínculo temático entre as primeiras investigações mecânicas de Galileu, desenvolvidas entre 1587 e 1610, e sua exposição final em 1638” (MARICONDA, in GALILEI, 2008, p. 638).

O ponto é que a leitura da obra de Benedetti fez Galileu perceber a lógica dos argumentos anti-aristotélicos levantados pelos pensadores parisienses⁷³, bem como a necessidade de substituir as concepções de Aristóteles (GEYMONAT, 1997, p. 15). De acordo com Koyré (2011a, p. 137), a influência de Benedetti sobre o pensamento de Galileu (desenvolvido ainda na juventude, durante o período pisano) foi tão marcante que pode ser claramente percebida no *De motu*. Não obstante, o trabalho do jovem professor não consistiu em uma mera repetição das ideias anteriormente defendidas por Benedetti. Geymonat (1997, p. 15) explica que Galileu percebeu a necessidade de desenvolver melhor dois aspectos presentes no texto de Benedetti, sendo eles o elemento matemático (influenciado pelas ideias de Arquimedes) e o elemento empírico, que por sua vez refletia o interesse renascentista “em manter a teoria e a prática, a explicação científica e o controle empírico sempre e indissoluvelmente ligados” (*ibid.*, p. 16). Ademais, Galileu compreendeu até mesmo que seria preciso superar não apenas a dinâmica aristotélica, tão atacada por Benedetti, mas inclusive a própria concepção parisiense de “ímpeto”. Ao pretender sustentar a física sobre bases matemáticas, Galileu notou que seria necessária uma nova mecânica, mas não desenvolveu tal projeto imediatamente, pois no *De motu* “este processo de amadurecimento está apenas começando e a teoria do ímpeto, mesmo com modificações e acréscimos em vários pontos, constitui ainda o fundamento do pensamento de Galileu” (*ibid.*, p. 16).

2.5 As mecânicas (*Le meccaniche*)

Além de tratar do movimento no *De motu*, Galileu também o fez no “Tratado das mecânicas” (*Trattato delle meccaniche*), conhecido também como “As mecânicas” (*Le meccaniche*)⁷⁴, que foi elaborado entre 1593 e 1602, período no qual o autor já estava lecionando em Pádua (1592 – 1610). Possivelmente, tal escrito destinava-se a dar suporte às aulas de Galileu em Pádua (VASCONCELOS, 2008, p. 551). Nesse trabalho, Galileu diz que as máquinas eram capazes de erguer um objeto bastante pesado empregando uma força menor do que a necessária para erguer o corpo diretamente

⁷³ Tais argumentos foram expostos no capítulo anterior, e dizem respeito às ideias de Jean Buridan e Nicolas Oresme.

⁷⁴ Somente em 1634 houve a primeira edição da obra, publicada em francês pelo padre Marin Mersenne, e intitulada *Les mechaniques de Galilée* (As mecânicas de Galileu). A primeira versão completa em italiano apareceu apenas em 1649, após a morte de Galileu (VASCONCELOS, 2008, p. 551).

(MACLACHLAN, 2008, p. 31), e emprega a geometria para dissertar sobre a utilização dos instrumentos mecânicos, tais como a balança e a alavanca.

Todavia, esse tópico irá tratar das considerações acerca do movimento presentes no *Le meccaniche*, nas quais inclusive já se podem antever aspectos relacionados à posterior noção galileana de inércia, conforme notou o tradutor em uma nota explicativa ao texto de Galileu (MARICONDA, in GALILEI, 2008, p. 638)⁷⁵. No caso, trata-se de uma argumentação relacionada ao plano inclinado, no qual pode ocorrer movimento desde que tal superfície seja polida como um espelho e o corpo movente seja uma bola também polida. Além disso, para que haja movimento, é preciso que a bola esteja sobre uma superfície que apresente ao menos uma ligeira inclinação (GALILEI, 2008, p. 628). É importante sublinhar que, ao tecer suas considerações acerca de movimentos sobre planos inclinados, Galileu ainda parece comprometido com a concepção aristotélica de que corpos graves tendem naturalmente a buscar o seu lugar natural no centro do mundo (ou seja, na Terra). Isso porque, de acordo com Galileu, a bola “se moveria espontaneamente em direção à parte em declive e, ao contrário, teria resistência, nem se poderia mover sem alguma violência, em direção à parte em aclave ou ascendente” (*ibid.*, p. 628). Em outras palavras, a bola (composta do elemento “terra”) tem como natural o movimento descendente, de modo que ao se encontrar em declive, move-se sem esforço para baixo; enquanto que, ao se mover em um plano ascendente, o faz com esforço, uma vez que tal movimento é não natural, ou seja, violento.

Tendo em mente que o movimento da bola ocorre em um plano inclinado descendente (movimento natural) ou ascendente (movimento não natural), Galileu defende que a bola permanece em repouso apenas quando está em uma superfície perfeitamente plana:

[...] fica necessariamente claro que na superfície exatamente equilibrada a bola permanece como que indiferente e dúbia entre o movimento e o repouso, de modo que qualquer mínima força é suficiente para movê-la, assim como, ao contrário, qualquer mínima resistência, tal como apenas aquela do ar que a circunda, é suficiente para mantê-la parada (*ibid.*, p. 628).

⁷⁵ Refiro-me à nota 8. Na nota 10, Mariconda diz que a “indiferença” da bola em relação ao movimento e ao repouso (em um plano horizontal) remete à questão da inércia.

Depreende-se do trecho acima que, na ausência de uma força motriz ou da resistência do meio, a bola não está inclinada nem ao movimento e nem ao repouso, o que constitui um contraponto à filosofia aristotélica (segundo a qual os corpos tendem a repousar em seus lugares naturais quando nenhuma força atua sobre eles). Contudo, é difícil conceber uma situação que não seja movimento nem repouso, mesmo no caso de uma condição ideal de uma superfície perfeitamente plana, de modo que podemos aventar a hipótese de que Galileu talvez considerasse que, ao permanecer sobre uma superfície plana sem qualquer interferência externa, a bola ficaria em repouso, embora tendendo ao movimento.

É justamente nesse ponto que se pode notar o princípio da argumentação inercial que Galileu desenvolveu nas décadas seguintes, sobretudo no *Diálogo* e no *Discorsi*, sendo que a primeira dessas obras contém uma exposição bastante semelhante à do *Le meccaniche*, quando o personagem Salviati leva o seu interlocutor Simplicio a admitir a propriedade inercial dos corpos questionando-o sobre se uma bola perfeitamente esférica estaria ou não em movimento caso se encontrasse sobre uma superfície plana e polida como um espelho (GALILEI, 2001, p. 226-227). Segundo Évora, a noção galileana de inércia fundamenta-se nesse argumento, caso em que a supracitada bola ficaria em repouso de modo perpétuo a menos que uma força atuasse sobre ela e impelisse-a ao movimento:

[...] podemos dizer que até o momento Galileo enunciou o princípio da inércia tal qual Newton o fez anos mais tarde – todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, exceto quando é compelido por uma força aplicada sobre ele a mudar seu estado (ÉVORA, 1994, p. 127).

No trecho acima, Évora faz referência à argumentação expressa no *Diálogo*, mas ela não difere da exposição contida no *Le meccaniche* no que diz respeito ao conteúdo⁷⁶, como ficará evidente no tópico relativo ao *Diálogo*. Contudo, apesar dessa semelhança no que concerne ao exemplo dado para ilustrar a propriedade inercial dos corpos (imagem de uma bola sobre determinada superfície plana), o jovem Galileu ainda não havia se libertado das concepções científicas de alguns de seus predecessores (como

⁷⁶ A diferença entre as duas argumentações reside na forma: enquanto no *Le meccaniche* Galileu utilizou uma linguagem meramente expositiva, em sua obra de maturidade (*Diálogo*) ele defendeu suas ideias de maneira dialógica.

Benedetti), já que ele ainda acreditava que o motor conferia uma força motriz (ímpeto) ao movente, conservando o deslocamento de tal corpo durante certo tempo, embora tal força não fosse contínua (podendo extinguir-se até mesmo no vazio). Esse caráter transitório da mecânica do ímpeto era equivalente a uma “postura anti-inercial” (*ibid.*, p. 119): afinal, se o ímpeto é responsável por manter algo em movimento, este jamais seria eterno, pois essa força externa extinguir-se-ia em algum momento e o corpo perderia a força motriz que o impulsionava.

2.6 Adesão de Galileu ao copernicanismo

No tópico 2.4, mencionou-se que no início de seu percurso acadêmico, Galileu opôs-se à astronomia copernicana (p. 65). Tal opinião encontra-se ao menos em um dos textos de juventude de Galileu, intitulado *Trattato della sfera ovvero cosmografia* (Tratado da esfera ou cosmografia), material que possivelmente foi direcionado aos seus alunos. De acordo com Évora (*ibid.*, p. 16), o trabalho acima só foi publicado postumamente (1656), embora tenha sido escrito entre os anos de 1586 e 1592, talvez até mesmo após a transferência de Galileu para Pádua⁷⁷. Em tal estudo, Galileu defendeu a visão cosmológica de Aristóteles e Ptolomeu, segundo a qual a Terra permanece estática ao invés de se mover, como acreditara Copérnico. Esse posicionamento pode ser claramente percebido em um dos artigos da obra, intitulado “Que a Terra é imóvel”:

A presente questão é digna de consideração, sendo que não faltaram grandes filósofos e matemáticos que, considerando ser a Terra uma estrela, fizeram-na móvel. No entanto, nós seguiremos as opiniões de Aristóteles e de Ptolomeu, e forneceremos as razões pelas quais se pode acreditar que ela [a Terra] é completamente estacionária (GALILEI, *Tratado da esfera ou cosmografia*, apud MARTINS, 1986, p. 77).

Para sustentar seu ponto de vista, Galileu baseia-se em um discurso largamente utilizado pelos aristotélicos, que contestavam a tese da mobilidade da Terra argumentando que objetos seriam deixados “para trás” após serem abandonados de certa altura ou lançados para cima, caso o planeta não estivesse imóvel, uma vez que a Terra

⁷⁷ Em Pádua, Galileu ministrou sua primeira aula em 7 de dezembro de 1592 (GEYMONAT, 1997, p. 20). O citado comentador afirma que o *Trattato della sfera ovvero cosmografia* foi escrito em 1597 (*ibid.*, p. 29).

deslocar-se-ia em direção ao oriente enquanto os objetos lançados ainda estariam em movimento no ar, acima do solo. Conseqüentemente, ao atingirem o chão, tais coisas não cairiam no mesmo ponto a partir do qual foram lançadas:

[...] se deixássemos cair para baixo, de lugares altos, coisas como uma pedra do topo de uma torre, ela não cairia mais na raiz da torre; pois no tempo durante o qual o corpo, descendo perpendicularmente [verticalmente], estivesse no ar, a Terra, subtraindo-se e movendo-se para o oriente, recebê-lo-ia em um lugar muito distante da torre; assim como, se o navio caminha muito rapidamente, a pedra que cai do topo do mastro não cai ao pé, mas para o lado da popa. E isso se veria ainda mais claramente nas coisas lançadas perpendicularmente para cima, as quais, ao descer, cairiam muito longe de quem as jogou: e assim a flecha atirada com arco diretamente para o céu, não recairia perto do arqueiro, o qual, enquanto isso, levado pelo movimento da Terra, teria se deslocado um grande espaço para o oriente (GALILEI, *Tratado da esfera ou cosmografia*, apud MARTINS, 1986, p. 77).

Futuramente, porém, Galileu valer-se-ia da mesma situação hipotética (de uma pedra abandonada do alto de uma torre), conhecida como “argumento da torre”, para contradizer o que outrora afirmara, passando a defender justamente o que havia condenado. Em outras palavras, o autor revisitou a objeção dos aristotélicos ao movimento da Terra, destacada acima, não mais para advogar a favor de Aristóteles e Ptolomeu, mas sim para defender a tese contrária (copernicana). Isso é feito no decorrer do *Diálogo* (ÉVORA, 1994, p. 111), razão pela qual o assunto será retomado no tópico 2.10.

Antes de retornar ao argumento da torre para mostrar como ele serviu à causa de Copérnico, cumpre investigar os motivos que levaram Galileu a aderir à teoria do movimento terrestre. Sobre isso, Drake observa que não existe evidência de um possível interesse de Galileu pela astronomia que seja anterior a 1595, época em que o cientista “descobriu uma explicação mecânica para as marés, para as quais eram necessários os dois movimentos circulares da Terra, pressupostos por Copérnico” (DRAKE, 1981, p. 56). Esse biógrafo de Galileu acredita que o estudo sobre as marés fizeram com que este optasse pela nova astronomia (*ibid.*, p. 56). O que é certo em relação ao episódio é que aparentemente Galileu não demorou muito para expressar sua mudança de postura, conforme evidenciam as cartas que redigiu em 1597, endereçadas a Jacopo Mazzoni (1548 – 1598), que era professor de filosofia na Universidade de Pisa (GEYMONAT,

1997, p. 29) e Johannes Kepler (1571 – 1630), cujo conteúdo será brevemente exposto a seguir.

A primeira das cartas mencionadas acima, datada de 30 de maio de 1597 e dirigida a Mazzoni, é tida como o documento histórico mais antigo no qual Galileu expressa sua preferência pelo copernicanismo, defendendo-o de um ataque falacioso empreendido por Mazzoni em um livro no qual comparava Platão e Aristóteles (*De comparatione Aristotelis et Platonis*), publicado naquele ano (DRAKE, 1981, p. 56). Após refutar o argumento de Mazzoni, Galileu manifestou ao ex-colega o seu receio em defender a nova teoria:

Mas para dizer a verdade, embora eu corajosamente sustentasse aquelas outras posições, eu estava no início muito confuso e vacilei ao ver Vossa Excelência tão resoluto e francamente refutando as opiniões dos pitagóricos e copernicanos acerca do movimento e lugar da Terra, que é sustentada por mim como sendo mais provável do que outras visões de Aristóteles e Ptolomeu (GALILEI, *Carta a Jacopo Mazzoni*, apud ÉVORA, 1994, p. 21).

Por sua vez, a carta enviada a Kepler (4 de agosto de 1597) foi motivada pelo primeiro livro do astrônomo alemão, intitulado *Mysterium Cosmographicum* (Mistério Cosmográfico), publicado em 1596. Nesse caso, tratava-se de uma defesa da tese de Copérnico, que segundo Kepler “era o único sistema capaz de se ajustar aos arquétipos que Deus havia usado para colocar em ordem o Universo” (MOURÃO, 2007, p. 45). Em sua carta a Kepler, na qual agradece por ter sido presenteado com o livro, Galileu declara seu apoio à hipótese copernicana e promete que apreciará o texto cuidadosamente, acrescentando que se empenhará na leitura

“tanto mais voluntariamente, tendo em vista que aceitei as ideias de Copérnico há vários anos e que eu tenho descoberto, a partir desta hipótese, a causa de muitos fenômenos naturais que são seguramente inexplicáveis por meio das hipóteses comuns; eu tenho elaborado demonstrações e preparado refutação a muitos argumentos contrários, mas até o presente não ousei publicar tudo isto, aterrorizado com o próprio destino do nosso mestre Copérnico que, sem dúvida, adquiriu fama imortal, mas que para a maioria infinita de pessoas (como parece ser o número de tolos) tem servido de objeto de ridículo e ironia. Se não fosse este fato, eu ousaria seguramente publicar meus pensamentos se existisse mais gente como você, mas como não é o caso, remeterei tal trabalho para mais tarde” (GALILEI, *Carta a Johannes Kepler*, apud MOURÃO, 2007, p. 64).

Galileu justifica o seu silêncio no que concerne à adesão à astronomia de Copérnico como fruto da prudência, postergando admitir publicamente a sua conversão às novas ideias por temer ser ridicularizado. Contudo, Kepler não ficou satisfeito, e na epístola seguinte (13 de outubro de 1597), exortou Galileu a assumir que se tornara copernicano, solicitando também que este revelasse o que descobrira a favor de Copérnico. Entretanto, Kepler jamais recebeu qualquer resposta (*ibid.*, p. 66-68). Quanto ao argumento galileano que visava reforçar a hipótese da mobilidade da Terra, Drake (1981, p. 57) afirma que Kepler concluiu acertadamente que se tratava do fenômeno das marés⁷⁸, embora Galileu nunca houvesse mencionado nada a respeito.

A interrupção abrupta, por parte de Galileu, de sua correspondência com Kepler talvez sugira que apesar de estar aparentemente convencido da verdade do sistema copernicano, como indicam as cartas enviadas a Mazzoni e Kepler, Galileu parecia não dispor de argumentos suficientes para sustentar a astronomia de Copérnico e, ao mesmo tempo, remover todos os obstáculos que os aristotélicos e ptolomaicos interpunham à nova teoria. Dentre esses obstáculos, pode-se citar a dificuldade em explicar o movimento da Lua ao redor da Terra caso esta orbitasse o Sol ao invés de estar parada no centro do Universo. Tratar-se-ia de um planeta orbitando outro planeta⁷⁹, problema que não foi resolvido pelo sistema heliocêntrico antes das observações astronômicas de Galileu. Tais pesquisas só foram possíveis depois de 1608, data em que um fabricante de óculos holandês inventou um instrumento que fazia com que objetos situados a alguma distância pudessem ser visualizados como se estivessem mais próximos. Tratava-se do **telescópio**, aparelho que ampliou sobremaneira o escopo dos trabalhos de Galileu, ao fazer com que este se dedicasse mais às questões astronômicas, diferentemente do que fizera até então, quando se ocupara mais com problemas de

⁷⁸ Em 1615, quando já entrara em conflito com a Igreja, Galileu pretendeu utilizar o argumento das marés como prova do sistema copernicano perante as autoridades eclesiásticas, mas sua teoria estava errada (PIRES, 2008, p. 124). Ainda assim, é interessante notar como uma conjectura equivocada, de que as marés eram produzidas pela combinação dos movimentos de rotação e translação da Terra, levou Galileu a uma conclusão correta (de que o nosso planeta se move em torno do Sol). Atualmente, a explicação do fenômeno das marés fundamenta-se na atração gravitacional da Lua e do Sol (MACLACHLAN, 2008, p. 33).

⁷⁹ Antes de Newton, a palavra “satélite” não integrava o vocabulário científico, de modo que em suas descobertas astronômicas, Galileu refere-se a eles como “planetas”, preservando a etimologia grega original de “corpo errante” (PIRES, 2008, p. 119). Nesse sentido, a Lua era considerada um planeta, e na hipótese de a Terra orbitar o Sol, esta também seria um planeta. Segue-se, portanto, que se trataria de um planeta girando em torno de outro planeta.

mecânica, nomeadamente aqueles referentes à queda dos corpos e ao movimento de projéteis (PIRES, 2008, p. 119). Ao tomar conhecimento da invenção do telescópio (que na época foi denominado *perspicillum*)⁸⁰ e decidir construir um para seu uso particular (eventos ocorridos em 1609), Galileu não apenas reorientou as suas pesquisas, mas acabou descobrindo fatos novos que fortaleceriam a hipótese copernicana, conforme será explicado abaixo. Tais descobertas astronômicas foram fundamentais para a revolução científica que já estava em curso desde a publicação do *De Revolutionibus* de Copérnico.

O primeiro telescópio de Galileu era superior aos existentes na época, por possuir maior capacidade de aumento. Ele foi o primeiro a descrever o Universo a partir de observações feitas através do aparelho (*ibid.*, p. 118), descobertas que deram origem ao *Sidereus Nuncius* (O Mensageiro das Estrelas)⁸¹, publicado em 1610. Nessa obra, Galileu explica como construíra seu telescópio e em seguida descreve o resultado de suas pesquisas astronômicas, que representaram um considerável acréscimo ao conhecimento científico da época. Dentre as novidades mais importantes, pode-se citar a descoberta de que a Lua possui grande quantidade de manchas, de diferentes tonalidades e tamanhos, o que levou Galileu a concluir que “a superfície lunar não era suave e uniforme, mas irregular, cheia de cavidades e protuberâncias” (*ibid.*, p. 118). Ou seja, a região lunar é tão acidentada quanto a terrestre, constatação que significou um baque na cosmologia aristotélica e, conseqüentemente, na visão de mundo ptolomaica, uma vez que esta era, em grande medida, sustentada pela filosofia de Aristóteles. O caso é que a cosmologia aristotélica fundamentava-se na distinção entre os corpos terrestres e os celestes, sendo os primeiros suscetíveis de geração e corrupção; enquanto que os últimos seriam imutáveis e incorruptíveis, compostos de matéria distinta da terrestre (ROVIGHI, 2000, p. 39). O uso do telescópio possibilitou a derrocada da crença de que os mundos supralunar e sublunar fossem completamente diferentes: a Lua assemelhava-se à Terra ao menos em relação à matéria da qual era constituída.

⁸⁰ A expressão “telescópio” surgiu em 1611 (PIRES, 2008, p. 118).

⁸¹ A palavra latina *nuncius* pode significar “mensagem” ou “mensageiro”, ambigüidade que fez Kepler interpretar o título da obra de Galileu como “o mensageiro das estrelas” no lugar de “a mensagem das estrelas”. Embora Galileu se refira a sua própria obra, em italiano, como “mensagem das estrelas” ou “mensageiro das estrelas”, Koyré aponta que o autor entendia a palavra *nuncius* como “mensagem”. Contudo, o termo “mensageiro das estrelas” foi mais aceito (ÉVORA, 1994, p. 29, nota 25).

A despeito das implicações que a detecção das irregularidades da superfície lunar trouxera para a astronomia ptolomaica, isto não representava um argumento a favor da hipótese concorrente. Entretanto, a observação do céu levou Galileu a descobrir os satélites de Júpiter, algo que ele interpretou como um argumento a favor do copernicanismo. O cientista narra tal acontecimento com riqueza de detalhes no *Sidereus Nuncius*, considerando-o como a sua descoberta mais relevante no campo da astronomia:

Descrevemos brevemente as observações feitas, até agora, da Lua, das estrelas fixas e da GALÁXIA. Falta-nos revelar e divulgar aquilo que parece ser o mais importante da presente matéria: quatro PLANETAS nunca vistos desde o princípio do mundo até aos nossos dias, as circunstâncias da sua descoberta e observação, as suas posições e as observações feitas nos últimos dois meses acerca dos seus deslocamentos e mudanças (GALILEI, 2010, p. 179).

Após destacar a importância do que descobrira a respeito de Júpiter, Galileu explica que em 7 de janeiro de 1610, percebeu três pequenas estrelas alinhadas próximo ao supracitado planeta, sendo duas a leste e uma a oeste. Inicialmente, ele pensou que se tratavam de estrelas fixas, mas na noite seguinte notou que os três corpos achavam-se a oeste de Júpiter, tendo assim mudado de posição em relação à noite anterior. Isso causou estranhamento ao cientista, que passou a observar tais estrelas quase todas as noites, percebendo em cada ocasião diferentes disposições, incluindo-se momentos nos quais uma das estrelas desaparecia de vista, fenômeno que Galileu interpretou como sendo causado pelo fato de que Júpiter estaria ocultando a terceira estrela (*ibid.*, p. 180). Enfim, na noite de 13 de janeiro, Galileu notou pela primeira vez que Júpiter estava rodeado por quatro estrelas (*ibid.*, p. 182), prosseguindo com suas observações ao menos até o dia 2 de março (*ibid.*, p. 203), e sempre descrevendo as posições de tais corpos no céu, considerados por ele como sendo planetas⁸². Ademais, o cientista percebeu que poderia obter ganhos políticos com sua proeza, e decidiu dedicar seu livro ao grão-duque da Toscana, Cosme II de Médici, homenageando também a família do príncipe ao designar os astros na órbita de Júpiter como “estrelas mediceias” (*ibid.*, p. 148).

⁸² Contudo, em uma carta enviada a Galileu em outubro do mesmo ano, Kepler designou tais astros como “satélites de Júpiter” (LEITÃO, in GALILEI, 2010, p. 80), antecipando-se, portanto, a Newton. Ver nota de rodapé nº 79 (p. 73).

A importância da descoberta dos satélites de Júpiter para a hipótese heliocêntrica deu-se por meio da superação de uma dificuldade até então não solucionada pelos partidários de Copérnico. Tratava-se de explicar a possibilidade de um planeta orbitar outro planeta, ou mais especificamente, se era possível que a Lua (na época considerada um planeta) girasse em torno da Terra caso o Sol fosse o centro do Universo (PIRES, 2008, p. 119). Aparentemente, a questão não afligia os ptolomaicos, pois se os corpos celestes (incluindo-se o Sol e a Lua) estivessem orbitando a Terra, não haveria nenhum planeta girando em volta de outro planeta, de modo que caberia aos copernicanos explicar se algo assim seria possível. Os satélites de Júpiter forneciam essa resposta: afinal, tanto no sistema ptolomaico quanto no copernicano, Júpiter orbitava outro corpo celeste, que poderia ser a Terra ou o Sol, respectivamente; e uma vez que havia quatro “planetas” em torno de Júpiter, ficava comprovada a hipótese de que um planeta poderia orbitar outro planeta, qualquer que fosse a configuração do Universo (geocêntrica ou heliocêntrica). Em seu “Estudo introdutório” ao *Sidereus Nuncius*, Henrique Leitão faz o seguinte apontamento:

Os historiadores concordam em geral que a descoberta dos satélites de Júpiter, esvaziando assim a objecção que pretendia negar o movimento da Terra pela impossibilidade de a Lua a acompanhar, foi um facto decisivo na conversão de Galileu a um copernicianismo explícito e militante (LEITÃO, in GALILEI, 2010, p. 82).

De fato, após perceber a analogia existente entre o movimento da Lua e os satélites de Júpiter, Galileu passou a apoiar abertamente o sistema copernicano, deixando clara sua posição já no livro *Sidereus Nuncius*:

Temos, além disso, um excelente e esplêndido argumento para eliminar os escrúpulos daqueles que, embora admitindo tranquilamente a revolução dos planetas em torno do Sol no sistema copernicano, ficam tão perturbados pela circulação de uma única Lua em torno da Terra, enquanto as duas juntas completam um orbe anual em torno do Sol, que concluem que esta constituição do universo deve ser recusada como impossível. Pois aqui temos não apenas um planeta revolvendo em torno de outro enquanto ambos se deslocam ao longo de um grande círculo em torno do Sol, mas os nossos sentidos mostram-nos quatro estrelas vagueantes em torno de Júpiter, à semelhança da Lua em torno da Terra, ao mesmo tempo que todas elas com Júpiter percorrem um grande orbe em torno do Sol no intervalo de doze anos (GALILEI, 2010, p. 205).

Uma vez clarificada como se deu a conversão de Galileu à astronomia de Copérnico, é necessário tecer algumas considerações de como tal adesão se relaciona

com o entendimento galileano a respeito da inércia. O ponto é que ao admitir a propriedade inercial de um corpo (como o de uma pedra no topo do mastro de um navio, esteja este em movimento ou não), se aceita que o estado de movimento ou repouso desse corpo só pode ser alterado mediante a ação de uma força. Baseando-se nisso, pode-se dizer que um corpo abandonado do alto de uma torre ou do mastro de um navio permanece sempre junto a essa torre ou ao mastro. Entretanto, os defensores do sistema ptolomaico argumentavam que ao cair do topo do mastro de um navio em movimento, a pedra não atingiria a base do mastro, mas um ponto mais distante, pois a pedra seria deixada “para trás” enquanto o navio mover-se-ia adiante. O próprio Galileu era partidário dessa tese, convencido de que se tratava de uma evidência da imobilidade da Terra (GALILEI, *Tratado da esfera ou cosmografia*, apud MARTINS, 1986, p. 77, citado nas páginas 70 e 71), ideia que abandonaria mais tarde.

Em síntese, para os aristotélicos, caso o navio estivesse em movimento na ocasião em que a pedra fosse abandonada do topo do mastro, ela cairia mais próxima à popa do que se tal deslocamento ocorresse com a embarcação em repouso (situação em que a pedra cairia rente ao mastro). Analogamente, os aristotélicos acreditavam que na hipótese de a Terra se mover, um corpo abandonado do alto de uma torre atingiria o solo em um ponto um pouco afastado da torre, e como isso não ocorria, julgavam que a Terra estava estática. Contudo, Galileu mostrou o equívoco do raciocínio, dado que se a Terra estivesse girando, todos os corpos terrestres (incluindo-se aí a torre, a pedra e o navio – não importando se este último estivesse ou não se movendo) compartilhariam do mesmo movimento do planeta. Como todos nós participamos do movimento da Terra, não somos capazes de perceber que tudo o que está a nossa volta também se move. Isso consiste na

“teoria da relatividade do movimento (que hoje chamamos relatividade clássica): percebe-se o movimento quando se compara um móvel com alguma coisa que não participe do próprio movimento do móvel; mas, se se faz parte do sistema que está em movimento, não se percebe o movimento. Ora, já que tanto a torre como a pedra que cai da torre participam (na hipótese copernicana) do movimento da Terra, é impossível dar-se conta do movimento que a pedra realizou junto com a Terra” (ROVIGHI, 2000, p. 39).

O princípio da relatividade possui uma estreita ligação com a concepção galileana de inércia. Para entender tal conexão, é preciso recordar que um corpo tende a

manter seu movimento desde que nenhuma força contrária modifique tal estado. Por conta disso, os corpos abandonados do alto de um navio ou de uma torre continuam participando do movimento terrestre da mesma maneira como faziam quando repousavam sobre o mastro ou torre. Em outras palavras, apesar de ter se separado do corpo que a sustentava à determinada distância do solo, a pedra continua integrando o mesmo sistema móvel do qual a torre e o navio também fazem parte. De modo que, de acordo com o princípio de inércia,

“um corpo em movimento retilíneo e uniforme persevera indefinidamente em seu estado, se não intervém uma força para modificá-lo, a pedra que cai do alto da torre ou do alto do mastro de um navio tende a perseverar no movimento que tinha quando estava no alto da torre, movimento que era o mesmo da torre, e portanto não abandona, por assim dizer, a torre e cai a seus pés” (*ibid.*, p. 40).

Conclui-se que a pedra sempre cai no mesmo ponto do convés, esteja o navio em movimento ou em repouso. Por conta disso, não é possível dizer se a embarcação está em movimento; e da mesma forma, o experimento com uma pedra abandonada do alto de uma torre não fornece qualquer auxílio para afirmar se a Terra está girando ou permanece estática, dado que a pedra sempre cai ao pé da torre (ÉVORA, 1994, p. 123). Considerando o princípio galileano da relatividade, não conseguimos notar que todos os corpos terrestres estão em movimento junto à Terra, e que, portanto, descrevem trajetórias inerciais, tendo em vista que tal movimento planetário é perpétuo.

Em resumo, Galileu apresenta a sua noção de inércia e a de relatividade do movimento como meio de contornar o chamado “argumento da torre”, e assim salvaguardar o copernicanismo dos ataques dos aristotélicos:

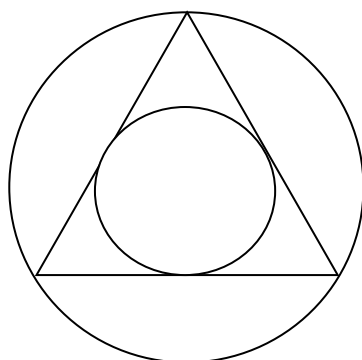
Galileo, para fundamentar seu argumento contra a objeção aristotélica à mobilidade da Terra, baseado no argumento da Torre, enuncia o seu princípio de inércia, que seria uma espécie de inércia circular⁸³, desenvolve uma nova mecânica para analisar o movimento de queda dos corpos pesados, e finalmente introduz seu princípio da relatividade e a sua análise dos movimentos compostos (*ibid.*, p. 140).

⁸³ A inércia circular será o tema do tópico 3.2 desse trabalho, no Capítulo 3.

2.7 Kepler e a criação do termo *inércia*

As descobertas científicas de Galileu levaram-no, aos poucos, a admitir o sistema copernicano. Parece não ter sido esse o caso em relação ao astrônomo alemão Johannes Kepler (1571 – 1630), que desde a época dos seus estudos universitários (1589 – 1593) na Universidade de Tübingen (Alemanha), já se manifestara a favor de Copérnico, possivelmente influenciado por Michael Maestlin (1550 – 1631), seu professor de matemática e astronomia (BURTT, 1991, p. 44-45). Maestlin descrevia o mundo segundo a concepção ptolomaica, mas ensinava aos seus melhores estudantes a visão copernicana (MOURÃO, 2007, p. 37), algo que influenciou Kepler sobremaneira (PIRES, 2008, p. 98).

O interesse de Kepler pela explicação de Copérnico devia-se fundamentalmente às relações místicas de um Universo heliocêntrico que a teoria proporcionava (MOURÃO, 2007, p. 39). Todavia, o astrônomo alemão levou em consideração as vantagens matemáticas do sistema copernicano em relação ao ptolomaico (*ibid.*, p. 37), e em 9 de julho de 1595, ao desenhar uma figura geométrica enquanto ministrava uma aula⁸⁴, ocorreu-lhe relacionar a astronomia copernicana à geometria euclidiana. A figura que inspirou Kepler era um triângulo com um círculo inscrito e outro circunscrito:



Kepler percebeu que “a proporção entre o raio do círculo maior (círculo que envolvia o triângulo) e o do menor (círculo envolvido pelo triângulo) parecia semelhante àquela existente entre as órbitas de Saturno e de Júpiter” (*ibid.*, p. 42). Isso o motivou a tentar relacionar as distâncias existentes entre os demais planetas com o auxílio de outras figuras geométricas planas (bidimensionais). Assim, buscou

⁸⁴ De 1594 a 1600, Kepler foi Matemático Provincial e professor em Graz (Áustria) (MOURÃO, 2007, p. 40).

estabelecer a distância entre Júpiter e Marte através de um quadrado; entre Marte e a Terra por meio de um pentágono; e entre a Terra e Vênus com um hexágono, mas sem sucesso (PIRES, 2008, p. 98). Por conta disso, Kepler resolveu substituir as figuras bidimensionais por figuras tridimensionais, os polígonos regulares, que também eram conhecidos como “sólidos platônicos” (*ibid.*, p. 31). Eram eles: o cubo (formado por seis quadrados), o tetraedro (quatro triângulos equiláteros), o dodecaedro (doze pentágonos), o icosaedro (vinte triângulos equiláteros) e o octaedro (oito triângulos equiláteros). Esses cinco sólidos foram inscritos nos intervalos entre os planetas:

Na órbita de Saturno, [Kepler] inscreveu um cubo; e no cubo outra esfera, que correspondia à esfera de Júpiter. Inscreveu nesta o tetraedro, e nele inscrita a esfera de Marte. Entre as esferas de Marte e da Terra colocou o dodecaedro; entre a Terra e Vênus, o icosaedro; entre Vênus e Mercúrio, o octaedro (*ibid.*, p. 99).

Para Kepler, o fato de existirem cinco sólidos perfeitos e cinco intervalos entre os planetas não poderia ser apenas uma coincidência. O astrônomo buscava uma harmonia no Universo físico, e a associação entre as formas tridimensionais e as órbitas planetárias adequava-se a tal pretensão. Dessa forma, Kepler concluiu que o Universo e a trajetória dos planetas eram determinados pelos sólidos platônicos, algo que, segundo o astrônomo, também explicava porque existiam exatamente seis planetas⁸⁵ (MOURÃO, 2007, p. 43). As conclusões de Kepler acerca da estrutura do mundo levaram-no a redigir o *Mysterium Cosmographicum* (Mistério Cosmográfico)⁸⁶, publicado em 1596. Era a primeira vez que um astrônomo defendia a tese heliocêntrica após a publicação do *De Revolutionibus* de Copérnico, propondo

“estabelecer definitivamente a superioridade do sistema copernicano sobre todos os outros, mostrando que este era o único sistema capaz de se ajustar aos arquétipos que Deus havia usado para colocar em ordem o Universo: os cinco poliedros regulares da Geometria, que segundo Kepler estariam associados aos seis planetas (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno)” (*ibid.*, p. 45).

Porém, Kepler já se declarava copernicano antes mesmo do fatídico dia em que vislumbrara a configuração do Universo que o levaria a escrever o *Mysterium Cosmographicum*. Uma evidência disso é o fato de que em 1593, com apenas 22 anos, o

⁸⁵ Naquela época, Urano e Netuno ainda não tinham sido descobertos (MOURÃO, 2007, p. 43).

⁸⁶ Citado na página 72.

astrônomo posicionou-se a favor do heliocentrismo em um debate em Tübingen (BURTT, 1991, p. 45). Posteriormente, ele revelou que a sua preferência pelo copernicanismo devia-se primordialmente ao lugar central que a nova astronomia conferia ao Sol, estrela a qual Kepler atribuía um caráter divino. O misticismo de Kepler em torno do Sol parecia contradizer sua defesa da aplicação do método matemático ao estudo da astronomia, mas foi justamente a importância dada ao Sol que o levou a optar pelo copernicanismo e, a partir daí, buscar relações matemáticas que pudessem descrever o mundo real⁸⁷. Em outras palavras, a crença de Kepler na divindade do Sol não se constituiu em um entrave para o desenvolvimento de suas pesquisas no campo da matemática e astronomia, mas parece ter sido uma espécie de motivação para o prosseguimento desses estudos, ancorados na concepção heliocêntrica do mundo.

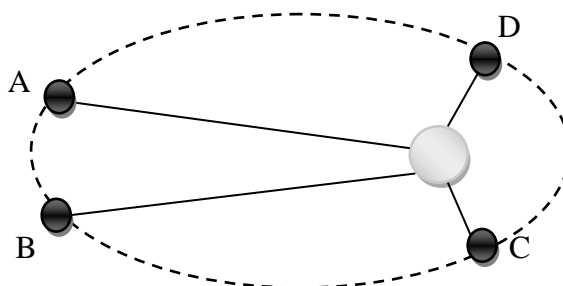
Segundo Burt,

“a ligação entre Kepler, o adorador do Sol, e Kepler, o investigador do conhecimento matemático da natureza astronômica, é muito estreita. Foi principalmente por considerações tais como a divinização do Sol e sua colocação correta no centro do universo que Kepler, nos anos de seu fervor adolescente e imaginação febril, foi induzido a aceitar o novo sistema. Mas sua matemática e seu neopitagorismo entraram em ação e sua mente imediatamente partiu da cogitação de que, se o sistema era verdadeiro, deveriam existir muitas outras harmonias matemáticas na ordem celeste, que poderiam ser descobertas e proclamadas como confirmações do copernicismo, através do estudo intenso dos dados disponíveis. [...] A paixão de sua vida passou a ser conhecer e revelar, para o ‘maior conhecimento de Deus através da natureza e a glorificação de sua profissão’, essas harmonias mais profundas, e o fato de que ele não se satisfizesse simplesmente com a manipulação mística dos números ou com a contemplação estética de fantasias geométricas deve-se a seu longo aprendizado da matemática e da astronomia” (BURTT, 1991, p. 46-47).

Além de conferir divindade ao Sol, Kepler estava convencido de que a estrela era responsável pela trajetória dos planetas em suas órbitas. Para o astrônomo, provinha do Sol a força que fazia com que os planetas se movessem com maior ou menor lentidão, fator que dependia da proximidade desses corpos com o Sol. Por esse motivo, quanto mais afastado do Sol, mais lento o movimento de um planeta (MOURÃO, 2007, p. 54). Embora falsa, essa assertiva levou Kepler a formular a Segunda Lei do

⁸⁷ Kepler era um realista. Em seu livro *Epítome da Astronomia Copernicana*, publicado entre 1618 e 1621, ele posicionou-se contra o instrumentalismo, afirmando que além de “salvar as aparências”, a astronomia deveria mostrar a estrutura verdadeira do cosmo (PIRES, 2008, p. 101-102).

Movimento Planetário⁸⁸, segundo a qual “o tempo necessário para varrer uma área da órbita deveria ser sempre proporcional à mesma distância” (*ibid.*, p. 123). A Lei é enunciada da seguinte forma: “o raio vetor que une o Sol a um planeta percorre superfícies iguais em tempos iguais” (*ibid.*, p. 124):



O desenho acima representa o movimento elíptico⁸⁹ de um planeta ao redor do Sol, no qual a esfera cinza simboliza o Sol e as quatro esferas menores representam um planeta em órbita em torno da estrela. O raio vetor é a linha imaginária que liga o Sol ao planeta, enquanto que as esferas A, B, C e D representam a posição do mesmo planeta em diferentes períodos. Considerando-se que o tempo gasto pelo planeta para deslocar-se de A até B seja igual ao tempo consumido para ir de C a D, então os arcos AB e CD terão áreas idênticas. A figura demonstra claramente que o planeta move-se mais rapidamente à medida que está mais próximo do Sol (CHERMAN, 2004, p. 34).

O copernicanismo kepleriano está relacionado à noção de inércia do autor. Kepler foi o primeiro a empregar a palavra *inércia* na física do movimento, mas não para designar a permanência do movimento ou do repouso na ausência de algo que pudesse alterar tais estados, e sim para afirmar que a matéria não começava a se mover por si mesma, e se estivesse em movimento, este não persistiria. Tal concepção está mais próxima da etimologia latina da palavra, que significa “preguiça” ou “indiferença” (o próprio Kepler utiliza-a no sentido de oposição ao movimento) (PIRES, 2008, p. 106) do que ocorre em relação à física clássica (galileana), que também compreende a inércia

⁸⁸ Apesar de ter ficado conhecida como a “segunda” das Leis de Kepler, tal lei foi a primeira a ser descoberta (MOURÃO, 2007, p. 124).

⁸⁹ A descoberta de que os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol (e não circulares, como se acreditava até então) consistiu justamente no que se convencionou chamar de Primeira Lei de Kepler acerca do movimento planetário. Foi a investigação da forma da órbita de Marte que levou Kepler a descobrir a Primeira Lei, pois concluiu que tal órbita era uma elipse (*ibid.*, p. 129). As duas leis foram divulgadas por meio do trabalho *Nova astronomia*, publicado por Kepler em 1609, e através do qual se iniciaram os estudos acerca da dinâmica planetária (CHERMAN, 2004, p. 34).

no sentido de permanência do movimento. Em outras palavras, a inércia kepleriana expressa a crença aristotélica de que os corpos tendem ao repouso:

A *inércia* kepleriana, como bem se sabe, é algo de muito diferente da *inércia* da física clássica. A *inércia* kepleriana exprime a resistência do corpo grave ao *movimento* (e não ao seu pôr-se em movimento ou aceleração), a sua tendência natural para o *repouso*. E assim – graças à *inércia* –, todo o movimento implica um motor, e privado deste, acaba por se consumir e por desaparecer. A persistência eterna de um movimento – qualquer que seja – é inconcebível para Kepler. A inércia, resistência interna ao movimento, desempenha na física de Kepler um papel análogo àquele que a resistência externa do meio desempenha na de Aristóteles; assim, Kepler estima que se os corpos não fossem dotados de inércia o movimento seria instantâneo (KOYRÉ, 1986, p. 231, nota 410, grifos do autor).

Para Kepler, todos os corpos celestes (incluindo-se os planetas) são dotados de inércia, entendida como a *resistência ao movimento*. Na ausência de uma força capaz de propiciar o deslocamento do corpo, este tende a permanecer inerte, mas ao contrário de Aristóteles, Kepler não defendeu a existência de “lugares naturais” para onde os corpos tenderiam a deslocar-se, mas sim de um espaço homogêneo no qual os corpos poderiam repousar em qualquer ponto. A ausência de lugares privilegiados faz com que

“cada <<lugar>> se torne para qualquer corpo um <<lugar natural>>. E assim o corpo permanece nesse <<lugar natural>> até que uma força o vá de lá expulsar. Não parte por si próprio, pois é, para Kepler, *inerte* e privado de tendências naturais. Mas também: em cada lugar, ele *pára* por si próprio se nenhuma força o impelir ou o levar para outro sítio. Também isto é um facto de *inércia*” (*ibid.*, p. 232, grifos do autor).

É justamente a natureza dessa “força” citada acima que representa a conexão do copernicanismo kepleriano com a sua concepção de inércia, pois para Kepler o Sol seria responsável por manter os planetas em órbita, e assim constituir-se-ia no motor que impediria que os corpos celestes permanecessem inertes⁹⁰. Para Kepler, se não houvesse resistência ao movimento, este seria instantâneo (*ibid.*, p. 231, nota 410); entretanto, considerando-se que os corpos são dotados de inércia, faz-se necessária uma força que supere essa resistência natural e mantenha o deslocamento dos corpos. Ou seja, o papel central do Sol na astronomia de Kepler não o levou apenas a professar o heliocentrismo,

⁹⁰ Segundo Kepler, a inércia é “uma propriedade absolutamente geral da matéria, consequência da sua ‘*impotência*’. E assim, sendo a matéria una no universo, atribui essa inércia aos corpos celestes, que, como tudo o mais, devem ser movidos por uma força activa (que Kepler faz emanar do Sol) e que parariam se deixassem de o ser” (KOYRÉ, 1986, p. 232, nota 413, grifo do autor).

mas também forneceu uma explicação física para o movimento planetário e sua persistência⁹¹.

2.8 Cartas sobre as manchas solares, de 1613

Como bem notou Henrique Leitão em seu “Estudo introdutório” ao *Sidereus Nuncius*, o interesse de Galileu em estudar a região celeste não arrefeceu após a publicação da supracitada obra. Embora as observações astronômicas realizadas por Galileu após o lançamento do *Sidereus* nem sempre tenham dado origem a novas descobertas, elas tornaram as observações anteriores mais precisas (LEITÃO, *in* GALILEI, 2010, p. 92). Isso parece ter ocorrido em relação a duas das três contribuições posteriores de Galileu à astronomia, sendo elas a descoberta das fases de Vênus, que já teriam sido constatadas pelos jesuítas do colégio de Roma (PIRES, 2008, p. 119) e a detecção das manchas solares, cujos primeiros registros de observação a olho nu remontam ao ano 165 a.C. (LEITÃO, *in* GALILEI, 2010, p. 99). Assim, ao menos uma das constatações de Galileu parecia inédita: algo que por algum tempo ficou conhecido como “Saturno tricorpóreo”, uma vez que esse planeta aparentemente estava ladeado por duas pequenas estrelas, bastante próximas ou talvez pregadas a ele. Isso consiste no fato de que Saturno está rodeado por um anel, algo que Galileu não conseguiu deduzir com seu telescópio primitivo (*ibid.*, p. 92-93).

Contudo, o presente estudo não se destina a analisar as três contribuições astronômicas elencadas acima, com exceção da que diz respeito às manchas solares, por ela estar relacionada à maturação do pensamento galileano no que concerne à inércia. Mas antes de apontar a conexão entre o estudo de Galileu sobre as manchas do Sol e as suas concepções inerciais, faz-se necessária uma breve contextualização do tema. Existe uma polêmica sobre quem teria sido o pioneiro na observação de tais manchas com o uso do telescópio, mas é sabido que o primeiro livro acerca do assunto (*De maculis in Sole observatis*) é da autoria de Johannes Fabricius, publicado em 1611, no mesmo ano em que ocorreram as suas observações do Sol. Por sua vez, Galileu observava as manchas solares desde 1610, mas só se ocupou realmente desse assunto a partir de

⁹¹ O Sol é o agente causal que explica a existência e continuidade do movimento planetário. Kepler prescindiu de uma causa para explicar o repouso e a paragem (KOYRÉ, 1986, p. 232). Por sua vez, esta “explica-se justamente pela *inércia* natural dos corpos” (*ibid.*, p. 232, nota 413, grifo do autor).

1612, enquanto que o jesuíta alemão Christoph Scheiner (1573 – 1650) já estava estudando o fenômeno desde o ano anterior. As pesquisas de Scheiner resultaram em uma obra denominada *Tres Epistolae de Maculis Solaribus Scriptae ad Marcum Welserum* (*ibid.*, p. 101). Como o superior de Scheiner temia que o conteúdo das cartas pudesse causar descrédito para a ordem dos jesuítas, o autor teve de redigi-las na forma de cartas ao magistrado Mark Welser, que as editou tratando Scheiner pelo pseudônimo de Apelle e depois as remeteu a Galileu, para que desse seu parecer (DRAKE, 1981, p. 89). Porém, os estudos de Galileu levaram-no a conclusões diferentes daquelas contidas no livro de Scheiner, pois este “defendera que as manchas eram devidas ao trânsito de satélites em torno do Sol, ao passo que Galileu, embora sem ter a certeza do que se tratava, explicou que as manchas estavam localizadas na superfície do Sol” (LEITÃO, *in* GALILEI, 2010, p. 101). Tendo em vista que “Apelle” escrevera três cartas, este também foi o número de respostas enviadas por Galileu, e da mesma forma endereçadas a Welser. Escritas ao longo de 1612, as epístolas foram reunidas num só volume e publicadas no ano seguinte com o título de *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* (*Cartas sobre as manchas solares*).

Ao mencionar o estudo relativo às manchas solares, pretende-se apenas destacar duas coisas. A primeira delas relaciona-se às conclusões de Galileu acerca do que lhe pareciam tais manchas, já que ao estar convencido de que elas não eram satélites (ou seja, planetas, na terminologia da época), o cientista insistiu que era mais provável que esses pontos escuros fossem nuvens ou algo semelhante, embora não tenha chegado a qualquer conclusão acerca de sua natureza, conforme se depreende da passagem abaixo:

Não estou afirmando que as manchas são nuvens da mesma matéria que as nossas, ou vapores d’água que se elevam da Terra e são atraídos pelo Sol. Digo apenas que não conhecemos coisa alguma que mais se assemelhe a elas. Podem ser vapores ou emanações, nuvens, vapores emitidos pelo globo solar ou atraídos para lá de outros lugares. Não cheguei a nenhuma conclusão sobre elas – talvez sejam mais uma das milhares de coisas que estão além da nossa compreensão (GALILEI, *Cartas sobre as manchas solares*, *apud* MACLACHLAN, 2008, p. 65).

A interpretação de Galileu tinha potencial para causar embaraços à cosmologia aristotélica, pois ao supor que as manchas solares não eram corpos dissociados do astro, podendo ser nuvens ou outra coisa parecida, o cientista acabou comprometendo a crença na natureza perfeita do Sol, da mesma forma como fizera na ocasião em que relatara

suas descobertas em relação à superfície irregular da Lua. A consequência direta disso consistiu em um abalo no ensinamento aristotélico de que os corpos celestes são incorruptíveis e inalteráveis (PIRES, 2008, p. 121). Ademais, ao considerar que as manchas pertenciam à própria superfície ou então à atmosfera solar, e cuja irregularidade em relação ao seu aparecimento contradizia a hipótese de que se tratava de estrelas em órbita ao redor do Sol, Galileu derivou

“uma prova direta da existência de um movimento de rotação deste astro sobre si mesmo e isto lhe parecia uma valiosíssima prova do sistema copernicano (de fato, ele estava convencido – assim como Kepler, de resto – da existência de uma correlação entre o movimento de rotação do Sol e o de revolução dos planetas em torno deste donde uma constatação do primeiro, através do movimento das manchas, lhe parecia constituir quase que uma verificação direta do segundo)” (GEYMONAT, 1997, p. 85).

Assim, à medida que progredia com suas observações telescópicas, Galileu ficava cada vez mais convicto de que a hipótese copernicana era verdadeira, e a pesquisa contida nas *Cartas sobre as manchas solares* foi apenas mais uma etapa desse processo. Todavia, esse texto de 1613 é particularmente interessante por outro motivo: ele parece conter, pela primeira vez, uma menção clara à noção de inércia⁹²:

E, portanto, sem obstáculos externos, um corpo pesado numa superfície esférica concêntrica como a Terra será indiferente ao repouso e aos movimentos para qualquer parte do horizonte. E ele se manterá naquele estado em que foi colocado, isto é, se colocado em estado de repouso, assim se conservará; e se colocado em movimento para oeste (por exemplo), continuará nessa direção (GALILEI, *Cartas sobre as manchas solares*, apud BRAGA; GUERRA; REIS, 2010, p. 89).

Não é difícil notar que se trata de uma concepção de inércia circular, na qual a distância do corpo em relação ao centro do círculo permanece sempre igual, e por isso a velocidade também seria constante. No decorrer da obra de Galileu há passagens que possibilitam a interpretação de que o cientista intuiu uma inércia circular, mas por outro lado também é possível argumentar que ele compreendeu a inércia como sendo algo de natureza retilínea ou linear. Essa questão será analisada detalhadamente no Capítulo 3 deste trabalho.

⁹² Galileu não utilizou a palavra “inércia”, preferindo, em várias ocasiões, o termo *impeto* quando pretendia referir-se a sua compreensão do movimento inercial (ÉVORA, 1994, p. 116, nota 10).

2.9 Carta de Galileu Galilei a Francesco Ingoli, de 1624

Em março de 1616, após deliberação dos teólogos do Santo Ofício, a Igreja concluiu que a hipótese do movimento terrestre era falsa e contrariava a Bíblia; e o cardeal Roberto Bellarmino (1542 – 1621) advertiu Galileu para que este deixasse de defender o copernicanismo (PIRES, 2008, p. 124), aproveitando-se do fato de o cientista italiano estar em Roma naquela ocasião. Na oportunidade, Galileu também recebeu um texto semelhante a uma carta, denominado *De situ et quiete Terrae*, refutando o sistema heliocêntrico. Escrita pelo padre Francesco Ingoli, a epístola continha argumentos (como o de um globo de chumbo abandonado do topo de uma torre) que durante anos foram tidos como conclusivos contra as ideias de Copérnico. Galileu não respondeu imediatamente, e só o fez em 1624 (MARTINS, 1986, p. 79-80); e ainda assim, segundo o próprio, por sentir-se forçado a fazê-lo, uma vez que o seu silêncio estava sendo interpretado como incapacidade de refutar os argumentos de Ingoli e adesão às demonstrações deste último (GALILEI, 2005, p. 478).

Aparentemente instado pelas circunstâncias a se pronunciar sobre o assunto⁹³, Galileu redigiu sua resposta em setembro de 1624. Na réplica, Galileu refutava as objeções astronômicas e filosóficas que Ingoli apresentara contra o sistema de Copérnico, prescindindo apenas das questões teológicas; e justificou tal postura ao dizer

⁹³ Embora Galileu tenha alegado que respondeu contrariado à carta de Ingoli, Geymonat aponta outra circunstância que pode ter levado o cientista a empreender tal tarefa. O caso remonta a 1623, quando o cardeal Maffeo Barberini, amigo de Galileu, tornou-se o papa Urbano VIII. Visto que o novo pontífice era um homem letrado, Galileu e outros católicos menos ortodoxos tinham esperança de que Urbano seria mais flexível do que seus antecessores (GEYMONAT, 1997, p. 149), em especial no que concerne à polêmica causada pela hipótese copernicana. Animado com a possível mudança de postura na mais alta hierarquia da Igreja Católica, Galileu decidiu encontrar-se com o papa, e para isso viajou a Roma em 1624 (*ibid.*, p. 152). O principal objetivo de Galileu era verificar se o pontífice teria disposição para revogar o decreto de 1616, mas este não se comprometeu claramente a fazê-lo, limitando-se a dizer que a despeito de a teoria heliocêntrica poder ser reforçada com um conjunto de fatos, seria “teoricamente possível que Deus, em sua infinita potência, tenha obtido os mesmos efeitos fazendo, ao contrário, o Sol girar em torno à Terra, exatamente como dizem as Sagradas Escrituras” (*ibid.*, p. 153), artifício retórico que ficou conhecido como “argumento de Urbano VIII”, e que por meio do qual o religioso julgou ter sido ridicularizado por Galileu no término do *Diálogo*. O ponto é que Urbano VIII não aparentou desagrado com a possibilidade de a hipótese de Copérnico voltar a ser discutida, motivando Galileu a voltar a divulgá-la. Para tanto, após retornar à Florença, o cientista resolveu responder à carta de Ingoli, mas não lhe enviou o texto. Ao invés disso, remeteu as suas considerações para vários amigos em Roma, que a divulgaram mesmo sem publicá-la. Consta que o próprio papa teve conhecimento desse texto, e seu autor não sofreu represálias (*ibid.*, p. 154). Ainda de acordo com Geymonat, o objetivo de Galileu parece não ter sido o de responder a Ingoli, mas sim a outra pessoa mais importante, que o cientista italiano queria trazer para o seu lado: o próprio Urbano VIII (*ibid.*, p. 158). A estratégia não era a de contestar os argumentos teológicos da Igreja, mas de defender a hipótese heliocêntrica das objeções astronômicas e filosóficas levantadas por Ingoli, e “levar ao conhecimento também dos católicos as novas razões recentemente descobertas a favor da verdade copernicana” (*ibid.*, p. 157).

que os assuntos teológicos não estão sujeitos a refutações, mas sim a interpretações (*ibid.*, p. 478). Com isso, Galileu demonstrou obediência à promessa que fizera oito anos antes a Bellarmino, de que não promoveria novamente a causa copernicana, e tamanho foi o seu zelo que se preocupou inclusive em designar a hipótese do movimento da Terra como a opinião que ele considerava verdadeira na época em que recebera o texto de Ingoli (*ibid.*, p. 478), dando a entender que naquele momento (1624) rejeitava a teoria que fora condenada pela Igreja. Isso é ainda mais evidente na seguinte passagem:

[...] eu não empreendo esta empresa porque eu tenha o pensamento ou o desígnio de levantar e sustentar como verdadeira aquela proposição que já foi declarada suspeita e repugnante àquela doutrina a qual por excelência e por autoridade é superior às disciplinas naturais e astronômicas; mas faço-o para mostrar que enquanto eu me ocupava com os astrônomos e os filósofos, não fui nem tão cego de intelecto nem tão débil de razão que, por não ter visto ou compreendido as objeções produzidas por vós, eu tivesse ficado na opinião de que a hipótese copernicana pudesse e devesse ser verdadeira e não a outra ptolomaica e comum (*ibid.*, p. 478-479).

No trecho acima, Galileu nega que sua intenção seja a de contestar aquilo que era considerado como verdadeiro pela Igreja, embora também negue que defendera a teoria de Copérnico por desconhecer os argumentos de Ingoli a respeito do tema. Esse recorte da correspondência de Galileu é bastante curioso porque além de o autor rotular de suspeita uma doutrina que sabia estar correta (copernicana), ele não credita tal “erro” passado ao desconhecimento das objeções de Ingoli à tese heliocêntrica, recusando-se a fingir que sua antiga visão cosmológica era carente de fundamentação científica e filosófica. Em outras palavras, é como se Galileu abraçasse a concepção aristotélico-ptolomaica do mundo (certamente coagido a fazê-lo por força do decreto de 1616, emitido pela Congregação do *Index*), mas negasse que seus estudos anteriores fossem desprovidos de método e de lógica. Agindo assim, Galileu nega a Ingoli o poder de convencimento que este supostamente teria tido sobre o primeiro, caso seus argumentos tivessem sido considerados. Trata-se, portanto, de um artifício retórico utilizado por Galileu para salvar o resultado de suas pesquisas do descrédito dos demais intelectuais, já que ele estava proibido de admitir que suas investigações apontavam para a verdade do sistema copernicano.

O preâmbulo anterior tornou-se necessário para clarificar o motivo de Galileu defender o heliocentrismo dos ataques de Ingoli sem se comprometer com a verdade da hipótese, já que as autoridades eclesiásticas poderiam condenar uma postura realista em relação ao assunto. Assim, Galileu quis apenas mostrar a correção das suas conclusões astronômicas; afinal, a Igreja permitira que os astrônomos utilizassem o sistema copernicano como hipotético, com a condição de que não o defendessem como sendo a configuração real do universo (PIRES, 2008, p. 124). Na carta enviada a Ingoli, dentre as muitas dificuldades contra a plausibilidade do sistema copernicano, consta também o já referido “argumento da torre”, novamente associado ao exemplo do navio, que Galileu anteriormente utilizara para reforçar a crença em uma Terra estacionária (GALILEI, *Tratado da esfera ou cosmografia*, apud MARTINS, 1986, p. 77). Entretanto, o supramencionado argumento agora lhe servia como um recurso a favor da tese oposta, e Galileu reapresentou-o da seguinte forma:

Vós, com Aristóteles e outros, dizeis: se a Terra girasse sobre si mesma em 24 horas, as pedras e os outros corpos graves que caem do alto para baixo, do cimo, por exemplo, de uma torre alta, não acabariam por percutir na Terra ao pé da torre; visto que, no tempo em que a pedra se mantém no ar descendo em direção ao centro da Terra, essa Terra, procedendo com suma velocidade para levante e levando consigo o pé da torre, acabaria por necessidade deixando para trás a pedra por tanto espaço quanto o da vertigem da Terra, no mesmo tempo, tivesse corrido para frente, o que seriam muitas centenas de braças. Esse argumento eles confirmam posteriormente com um exemplo tomado de uma outra experiência, dizendo que isso se vê manifestamente em um navio, no qual, quando ele está parado no porto, deixa-se da sumidade do mastro cair livremente uma pedra, esta, descendo perpendicularmente, vai percutir ao pé do mastro e precisamente naquele ponto que fica a prumo por debaixo do lugar de onde se deixou cair a pedra; efeito que não acontece (supõem eles) quando o navio se move em curso veloz; com efeito, no tempo que a pedra consuma para vir de cima para baixo e no qual ela, posta em liberdade, descende perpendicularmente, escorrendo o navio para frente, deixa por muitas braças a pedra para a popa distante do pé do mastro; efeito esse que deveria seguir-se para a pedra que cai do alto da torre, quando a Terra circulasse com tanta velocidade (GALILEI, 2005, p. 502-503).

Galileu inicia suas observações a respeito do argumento acima destacando que tanto Aristóteles quanto Ingoli supunham que a pedra abandonada do topo da torre deve descrever uma trajetória linear até chegar ao solo, como se estivesse “lambendo a superfície da torre, levantada perpendicularmente sobre a Terra; de modo que se percebe que a linha descrita pela pedra é também ela reta e perpendicular” (*ibid.*, p. 503), mas aponta em seguida que não é possível concluir que tal trajetória seja de fato

linear, a menos que se admita que a Terra esteja imóvel, algo que consiste justamente na conclusão que se procura. Dito isso, Galileu explica que ao considerar que a Terra também está girando, supõe que a pedra realizaria um **movimento composto**, pois continuaria compartilhando do movimento circular terrestre (já que não deixaria de pertencer ao mesmo sistema móvel da qual a torre faz parte, a saber, o do movimento da Terra em torno do Sol) e ao mesmo tempo deslocar-se-ia de maneira retilínea em direção ao solo. Nesse ponto, o autor recorre mais uma vez a sua concepção de **relatividade do movimento** (exposta na página 77), dizendo que a trajetória circular realizada pela pedra não poderia ser notada, tendo em vista que ela seria comum à pedra, à torre e aos humanos; sendo passível de observação apenas a queda da pedra aos pés da torre, já que tanto esta quanto o observador seriam desprovidos de tal movimento, realizado somente pela pedra (*ibid.*, p. 503). Ou seja, o movimento só pode ser percebido caso não se participe dele, característica que Koyré resume do seguinte modo:

[...] somos incapazes de atribuir o movimento a um determinado corpo considerado em si mesmo. Um corpo se acha em movimento apenas em relação a outro corpo que supomos estar em repouso. Por isso, podemos atribuir o movimento a um dos dois corpos, *ad libitum*. Todo movimento é relativo (KOYRÉ, 2011a, p. 200-201).

Prosseguindo com suas considerações, Galileu também alega que ao observarem as partes da Terra se movendo naturalmente para baixo, e em linha reta, os aristotélicos poderiam concluir que a inclinação natural da Terra consiste em buscar o centro e nele se manter⁹⁴; enquanto que ao supor o movimento rotacional, ele (Galileu) afirmava que os corpos movimentar-se-iam em torno do centro da Terra em 24 horas. Pode-se perceber nisso certa intuição acerca de uma inércia circular dos corpos terrestres, causada pelo fato de que eles participavam do movimento da Terra como um todo. Diz Galileu:

[...] direi que, sendo uma inclinação e operação natural do globo terrestre o circular em 24 horas em torno do seu centro, essa é ainda a inclinação das partes e que, por isso, por sua natureza, devem circundar o centro da Terra em 24 horas e que essa é a sua ação inata, própria e naturalíssima, à qual acrescenta-se (embora acidentalmente)

⁹⁴ Em sua carta a Ingoli (p. 503), Galileu afirma que Aristóteles e seus partidários sugeriram que o movimento natural da Terra seria o retilíneo em direção ao centro, porém sublinhando que esta jamais realizara ou realizaria tal movimento.

a outra de descer, quando por alguma violência elas tivessem sido separadas do seu todo (GALILEI, 2005, p. 503).

Interessante notar que, na explanação acima, Galileu contempla não apenas o movimento circular natural dos corpos, mas sim o composto, ao citar que ao primeiro poderia somar-se o movimento de queda, este de natureza accidental: tratar-se-ia, no caso, do deslocamento da pedra após ser liberada de cima da torre. Um pouco mais adiante, Galileu retorna ao argumento do navio reafirmando que independentemente do fato de a embarcação estar em repouso ou em movimento, a pedra sempre atingirá a base do mastro após cair do topo deste; e que na queda, a pedra parte do repouso apenas se o navio estiver parado, pois se este estiver em movimento, ela também estará se movendo (assim como o mastro, o tripulante e a mão deste, já que compartilham do mesmo movimento do navio, com igual velocidade). Mais uma vez, Galileu endossa sua tese da relatividade do movimento, percebido apenas por aqueles que não integram o sistema móvel em questão, de modo que o homem com o braço parado no topo do mastro não deixa a pedra cair a partir do repouso, mas sim do movimento, tendo em vista que todos os corpos que estão no navio participam do deslocamento deste. Segundo Martins, na carta a Ingoli, Galileu “tenta justificar o princípio de relatividade através da inércia” (MARTINS, 1986, p. 83-84), conforme trecho abaixo:

Digo-vos, portanto, Sr. Ingoli, que, enquanto o navio está em curso, com igual ímpeto move-se também aquela pedra, cujo ímpeto não se perde porque aquele que a segurava abra a mão e a deixe em liberdade, mas antes nela se conserva indelevelmente, de modo que esse [ímpeto] é suficiente para fazer a pedra seguir o navio (GALILEI, 2005, p. 504).

Para Galileu, o “ímpeto” não seria algo transmitido à pedra pelo agente motor (no caso, pelo tripulante que a deixasse cair), mas alguma coisa que se conservaria indefinidamente na pedra, mesmo depois que ela atingisse o convés após a queda. Ou seja, a palavra “ímpeto” é empregada para designar a concepção inercial de Galileu⁹⁵, exemplificada pela conservação do movimento da pedra (existente mesmo quando esta ainda está no topo do mastro). Esse “ímpeto” do qual a pedra seria dotada dever-se-ia ao fato de que ela faria parte do sistema móvel do navio, e assim teria o mesmo “ímpeto” que o último, compartilhando de seu movimento ou repouso. Logo, estando a pedra no

⁹⁵ Conforme dito anteriormente na nota n° 92 (p. 86), Galileu empregou a palavra “ímpeto” no sentido de inércia (ÉVORA, 1994, p. 116, nota 10).

topo do mastro, em queda ou no convés, o “ímpeto” não se altera, já que é igual ao do navio.

No final da carta, Galileu defende que os corpos naturais movem-se circularmente, e não em movimento reto (*ibid.*, p. 513), ao supor que estando todas as partes do universo em seus respectivos lugares, seus movimentos naturais são necessariamente circulares, pois o movimento reto implica mudança de lugar, e se tal mudança ocorre naturalmente, isso quer dizer que o corpo movente não estava em seu lugar natural, contrariando assim a suposição inicial de que as partes do universo estavam perfeitamente dispostas. Dessa forma, para Galileu o movimento reto é não natural, podendo ocorrer apenas “quando algum corpo fosse removido por violência do seu lugar natural, pois então talvez retornasse a ele por linha reta, pois assim nos parece fazer uma parte da Terra separada de seu todo” (*ibid.*, p. 514). Por sua vez, a mudança de lugar não seria observada caso o corpo estivesse em trajetória circular. Diz Galileu:

Tais inconvenientes não se seguem no movimento circular, o qual, sem desordenar em nada a ótima constituição das partes, pode ser de uso na natureza, porque aquilo que gira sobre si mesmo não muda de lugar, e aquilo que vai por uma circunferência não impede os outros e vai sempre na direção de onde partiu, de modo que o seu movimento é um perpétuo partir e um perpétuo retornar, mas o movimento reto é um mover-se para onde é impossível chegar, sendo a linha reta por sua natureza prolongável ao infinito, mas a circular, por necessidade, terminada e finita (*ibid.*, p. 514).

Na passagem acima, pode-se perceber novamente um esboço inicial da concepção galileana de inércia circular, quando o autor sugere que ao deslocar-se sobre uma circunferência, um corpo executa um movimento contínuo. O fato é que os temas tratados na carta a Ingoli (como o da relatividade do movimento, movimento composto e inércia) foram aprofundados por Galileu em suas duas últimas obras, o *Diálogo* e o *Discorsi*, assuntos que serão apresentados nos dois tópicos seguintes.

2.10 Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo, de 1632

Pode-se dizer que a recepção amistosa da carta a Ingoli por parte das autoridades eclesiais contribuiu para que Galileu mantivesse a crença de que com a ascensão de Urbano VIII iniciara-se uma nova era na Igreja Católica, de maior tolerância no que se refere aos debates científicos. Apesar de o novo pontífice não ter suspenso o decreto

de 1616, Galileu resolveu retomar a sua produção acadêmica concernente ao debate entre geocentrismo e heliocentrismo, ao redigir o *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano* (Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano), algo que o cientista havia prometido ainda na época da publicação do *Sidereus Nuncius*⁹⁶. Porém, quando se dispõe a apresentar os “dois máximos sistemas” do mundo, Galileu exclui explicitamente o sistema de Tycho Brahe (GEYMONAT, 1997, p. 169), segundo o qual a Terra encontrava-se no centro do universo, com o Sol e a Lua orbitando ao seu redor e os outros cinco planetas conhecidos na época girando em torno do Sol (PIRES, 2008, p. 95). O modelo de Tycho consistia em uma explicação geocêntrica, embora com modificações em relação à proposta de Ptolomeu, uma vez que este defendia que as órbitas de todos os corpos celestes eram concêntricas à Terra, enquanto Tycho propunha um sistema misto, no qual apesar de a Terra permanecer no centro do mundo, a maioria dos corpos celestes orbitavam o Sol, e este movimentava-se ao redor do nosso planeta.

Indubitavelmente, o *Diálogo* consiste na principal defesa da visão de mundo copernicana empreendida por Galileu, embora alguns dos argumentos constantes nessa obra tenham sido desenvolvidos de maneira mais rigorosa na carta a Ingoli (GEYMONAT, 1997, p. 159)⁹⁷. Talvez isso esteja relacionado ao tipo de público para o

⁹⁶ Na supracitada obra, Galileu menciona duas vezes a elaboração de um livro futuro denominado “Sistema do Mundo” (GALILEI, 2010, p. 171; 173).

⁹⁷ Geymonat cita os que, segundo ele, seriam os dois principais argumentos nesse sentido. O primeiro deles consiste em uma dificuldade de origem física, a saber, se a Terra é de fato o centro do universo. Enquanto os anticopernicanos basearam-se em Aristóteles para dizer que os corpos simples mais densos ocupavam os lugares inferiores no universo, com a consequência de que a Terra, sendo mais densa do que o Sol, estaria no centro do sistema ao invés do Sol; Galileu desconstrói esse discurso contestando o valor dado pelo aristotélico às noções de “inferior” e “superior”, defendendo que ambas não são absolutas (como achavam os aristotélicos), mas sim relativas, dependentes do número de corpos celestes existentes no mundo, uma vez que os lugares inferiores e superiores da Terra, Lua, Sol e demais esferas não são os mesmos. Ademais, Galileu chamou a atenção para a confusão entre centro da Terra e centro do universo; e por fim apontou que não era possível saber se a Terra era de fato mais densa que o Sol, propondo inclusive que “se queremos conceder a Aristóteles que o Sol seja inalterável e incorruptível, devemos realmente pensá-lo feito de matéria mais densa do que a terrestre porque mais semelhante ao ouro ou aos diamantes do que à água ou ao ar” (GEYMONAT, 1997, p. 160). Quanto ao segundo argumento, trata-se da objeção de cunho mecânico empreendida por Galileu no que diz respeito à tese de que um objeto qualquer cairia obliquamente (ou seja, de modo inclinado) caso o corpo que o contenha esteja em movimento (como um navio ou a Terra). O cientista italiano mostrou que, mesmo nesses casos, os objetos lançados do alto de corpos em movimento continuavam acompanhando o deslocamento daquilo que os mantinha em repouso, caindo perpendicularmente (em linha reta) após serem abandonados, e alcançando assim precisamente o ponto a partir do qual se poderia traçar uma linha reta com o ponto a partir de onde o objeto veio abaixo. Esse argumento mecânico deu origem ao chamado *princípio da relatividade galileana*, já citado nos tópicos 2.6 e 2.9, segundo o qual “é impossível decidir, com base em experiências

qual Galileu estava disponibilizando sua obra: enquanto a carta a Ingoli visava solucionar os embaraços astronômicos e filosóficos contra a teoria de Copérnico, o que a tornava um texto direcionado aos já iniciados na astronomia; o *Diálogo* parecia exercer a função de defender o copernicanismo perante a sociedade culta da época, até mesmo devido ao formato dialógico do texto, algo que possibilitava,

“de um lado, introduzir facilmente na conversação os mais diversos assuntos, desde que capazes de interessar o público culto pelos problemas da nova ciência; de outro apresentar as provas em favor do copernicanismo sem comprometer-se pessoalmente com ele” (*ibid.*, p. 165).

Ao redigir sua defesa do copernicanismo na forma de um diálogo, em que os personagens contrapunham visões opostas, em vez de produzir uma obra que expressasse de maneira dogmática as verdades sobre o mundo, Galileu parece ter encontrado a melhor saída para fazer uma apologia a Copérnico sem violar o decreto de 1616, dado que este permitia que os astrônomos utilizassem o sistema copernicano caso o considerassem apenas como uma hipótese (PIRES, 2008, p. 124). Segundo Koyré, o *Diálogo* nem mesmo pode ser considerado como um texto de astronomia:

O *Diálogo sobre os Dois Maiores Sistemas do Mundo* pretende expor dois sistemas astronômicos rivais. Mas, de facto, não é um livro de astronomia nem sequer de física. É, antes de tudo mais, um livro de crítica; uma obra de polémica e de combate; é ao mesmo tempo uma obra pedagógica, uma obra filosófica; e é, enfim, um livro de história: « a história do espírito de Galileu » (KOYRÉ, 1986, p. 263-264).

Em seguida, Koyré destaca que o *Diálogo* consiste em um texto literário, escrito em uma linguagem vulgar (italiano), de modo a garantir que o público letrado tivesse acesso à obra, e não somente os acadêmicos versados em latim. Ainda segundo Koyré (p. 264-265), Galileu queria cativar os poderosos⁹⁸, convencê-los do absurdo de continuar defendendo as ideias tradicionais, e para isso opta pelo formato dialógico, que permite uma absorção mais leve das verdades com as quais o cientista desejava demonstrar a estrutura do mundo aos seus contemporâneos. Em suma, o *Diálogo* é uma apologia que tenta convencer os leitores da validade da proposta de Copérnico, mas não

mecânicas realizadas no interior de um sistema, se este está parado ou em movimento retilíneo uniforme” (*ibid.*, p. 161).

⁹⁸ Tratar-se-iam dos *honnêtes gens*, que se reuniam nos salões venezianos ou na corte dos Médicis (KOYRÉ, 1986, p. 264-265).

se aprofunda em questões astronômicas e nem trata de uma nova ciência do movimento, algo que foi feito apenas no *Discorsi* (PIRES, 2008, p. 131). No texto, Galileu não se preocupou em apresentar as questões técnicas e matemáticas concernentes ao copernicanismo, mas somente de afastar as dificuldades que se interpunham ao modelo. Assim, Galileu

“não se ocupa muito com detalhes, fala de órbitas circulares sem fazer qualquer referência de que o modelo copernicano exigia o uso de epiciclos e excêntricos (assim o que ele chama de sistema copernicano não o é de fato). Afirma que não pretende provar a mobilidade da Terra mas somente mostrar que, dos argumentos de imobilidade nada se pode provar” (*ibid.*, p. 131).

A despeito de não ser um tratado científico a favor do heliocentrismo, o ponto é que o *Diálogo* representou o clímax da retomada da polêmica copernicana por parte de Galileu, até mesmo porque, em um primeiro momento, o autor pretendia ter uma atitude mais incisiva em defesa de Copérnico: o livro chamar-se-ia “Diálogo sobre as Marés”, mas Galileu foi convencido a mudar o título da obra, já que ao deixar claro que se trataria de um tratado sobre as marés, evidenciar-se-ia que se propunha um argumento físico a favor do movimento da Terra, enquanto que tal fenômeno deveria ser discutido apenas hipoteticamente (DRAKE, 1981, p. 117). O escopo do texto pode ser definido como uma crítica à autoridade e também uma defesa do uso da matemática no estudo da natureza (PIRES, 2008, p. 131).

No que tange à estrutura, o *Diálogo* está dividido em quatro jornadas (dias), durante as quais os três debatedores (Salviati, Sagredo e Simplicio) tratam de temas científicos. De modo mais específico, as jornadas “lidam respectivamente com a refutação das idéias cosmológicas de Aristóteles, com as objeções mecânicas ao movimento de rotação da Terra, com as objeções astronômicas ao movimento de translação da Terra e com a teoria das marés” (*ibid.*, p. 132). Contudo, o presente trabalho concentrar-se-á na Primeira e Segunda Jornada, intituladas respectivamente “A Homogeneidade do Mundo” e “O Movimento Diurno da Terra”, nas quais existem passagens importantes para a discussão do tema da inércia em Galileu.

Porém, antes de explicar os argumentos galileanos concernentes a sua concepção de inércia, cabem algumas palavras acerca dos personagens do *Diálogo*, da

forma como foram apresentados no Prefácio da obra, intitulada “Ao discreto leitor”: os personagens Salviati e Sagredo homenageiam dois amigos de Galileu, falecidos ainda jovens, sendo eles o florentino Filippo Salviati e o veneziano Giovan Francesco Sagredo; além desses, há um terceiro interlocutor, inspirado em um filósofo aristotélico que participara dos debates, cujo nome Galileu não revela, mas que por ter grande estima pelos comentários de Simplicio (que viveu no século VI d. C.), é chamado pelo nome deste filósofo (GALILEI, 2001, p. 87). Uma última observação, não menos importante, refere-se ao papel que cada interlocutor desempenha no *Diálogo*: Salviati representa as ideias de Galileu; enquanto que Sagredo dá forma ao homem inteligente que, mesmo sem ser especialista, é bastante receptivo ao desenvolvimento científico; por fim, Simplicio é a voz da autoridade, do dogmatismo aristotélico presente no ensino tradicional (MARICONDA, *in* GALILEI, p. 561-562, notas 13 a 16).

Prosseguir-se-á, agora, com a exposição e análise de alguns trechos do *Diálogo*. No início da Primeira Jornada, já é possível notar semelhanças com a carta a Francesco Ingoli, por meio de uma das falas do personagem Salviati. Na ocasião, este admite concordar com Aristóteles no que se refere à arquitetura do mundo, assumindo que este é formado por partes perfeitamente ordenadas (GALILEI, 2001, p. 99). Em seguida, diz Salviati:

Salviati – Estabelecido, portanto, este princípio, pode-se imediatamente concluir que, se os corpos integrais do mundo devem ser por sua natureza móveis, é impossível que seus movimentos sejam retos ou diferentes dos circulares; e a razão é muito fácil e manifesta. Pois aquilo que se move com movimento reto, muda de lugar e, continuando a mover-se, afasta-se sempre mais do ponto de partida e de todos os outros lugares pelos quais vai sucessivamente passando; e se tal movimento naturalmente lhe convém, então desde o início ele não estava em seu lugar natural e, dessa forma, as partes do mundo não estavam dispostas em perfeita ordem; mas supusemos que aquelas estavam perfeitamente ordenadas: portanto, é impossível que como tal elas tenham por natureza a propriedade de mudar de lugar e consequentemente de mover-se com movimento reto (*ibid.*, p. 99).

A argumentação exposta acima é idêntica ao que Galileu defendera na carta a Ingoli⁹⁹, no ponto em que advoga a favor da circularidade do movimento dos corpos. Para Galileu, partindo-se do princípio de que as partes do universo ocupam seus respectivos lugares, o movimento natural dessas partes é necessariamente circular, pois

⁹⁹ Sobre esse assunto, ver tópico anterior (p. 92).

se o movimento fosse reto haveria mudança de lugar. Conforme visto no tópico 2.9, o cientista ainda acrescenta que caso a mudança local ocorresse naturalmente, tratar-se-ia de admitir que o móvel não estaria em seu lugar natural, contrariando a premissa aceita inicialmente, de que as partes do universo estariam perfeitamente ordenadas. Ademais, caso houvesse um movimento reto que fosse natural, este também seria perpétuo, algo que Salviati não está disposto a admitir, conforme evidencia a sequência de seu argumento:

Salviati – [...] sendo o movimento reto por natureza infinito, porque infinita e indeterminada é a linha reta, é impossível que móvel algum tenha por natureza o princípio de mover-se pela linha reta, ou seja, para aonde é impossível chegar, inexistindo um término predeterminado. E a natureza, como afirma com propriedade o próprio Aristóteles, não se propõe fazer o que não pode ser feito, nem empreende o movimento para aonde é impossível chegar (*ibid.*, p. 99).

Em sua fala, Salviati recorre a Aristóteles para dizer que a natureza não contradiz suas próprias regras, impossibilitando um movimento até um lugar indeterminado. Tal ponto parece remeter à passagem do Livro VIII da *Física* no qual Aristóteles afirma que as coisas impossíveis não podem ocorrer, e dentre elas inclui-se o deslocamento por algo cuja extensão é infinita, que seria o caso de uma linha reta (ARISTOTLE, 2008, p. 224-225, *Physics*, 265a17)¹⁰⁰. Tais considerações aristotélicas reforçam o entendimento de que o Estagirita não teria defendido a persistência indefinida do movimento linear¹⁰¹, e Galileu parece comprometer-se com a mesma ideia, expressa pelos pontos de vista de Salviati. Cabe analisar mais detalhadamente esse aspecto, envolvendo um esclarecimento a respeito da possibilidade de a natureza admitir um movimento retilíneo¹⁰². Segundo Galileu, um deslocamento desse tipo pode ter sido útil durante a ordenação inicial do universo, quando todas as coisas ainda estavam desordenadas, mas depois passou a ser característico de corpos que não repousavam em seus lugares naturais. Continua Salviati:

Salviati – E se, ainda assim, alguém disser que, embora a linha reta, e consequentemente o movimento sobre ela, seja produtivo ao infinito

¹⁰⁰ Essa passagem encontra-se citada na página 27, no capítulo anterior (tópico 1.5).

¹⁰¹ Ver página 28 (tópico 1.5).

¹⁰² Na carta a Ingoli, Galileu diz que o movimento reto condiz apenas aos corpos que foram retirados de seus lugares naturais, e que para lá necessitam voltar. Tratar-se-ia, assim, de um movimento não natural (ver tópico anterior, p. 92).

ou seja indeterminada, todavia a natureza atribui-lhe, por assim dizer, arbitrariamente alguns términos e dá instintos naturais a seus corpos naturais para que se movam em direção a eles, responderei que isso talvez se pudesse imaginar ter ocorrido no primeiro caos, onde confusa e desordenadamente vagavam matérias indistintas, para cuja ordenação a natureza se tivesse muito adequadamente servido dos movimentos retos, os quais, assim como movendo os corpos bem constituídos, os desordenam, assim também são apropriados a bem ordenar os confusamente dispostos; contudo, depois da ótima distribuição e disposição é impossível que fique neles uma inclinação natural de ainda moverem-se com movimento reto, do qual agora somente se seguiria o afastarem-se os corpos do lugar próprio e natural, ou seja, o desordenarem-se. Podemos, portanto, dizer que o movimento reto serve para guiar as matérias na construção da obra, mas uma vez construída, ou fica imóvel, ou, se é móvel, move-se apenas circularmente (GALILEI, 2001, p. 99-100).

A passagem do *Diálogo* destacada acima não apresenta apenas a hipótese galileana de que a natureza valeu-se de movimentos retilíneos no princípio do universo, mas também deixa clara a aversão do cientista à ideia de que um corpo pudesse deslocar-se indefinidamente sobre uma linha reta. Isso é evidente no trecho em que se diz que a natureza atribui términos ao movimento retilíneo (cuja função natural consistiu apenas na ordenação inicial das matérias anteriormente desordenadas, e depois na recondução dos corpos aos seus lugares), e quando Salviati explica que após a conclusão da obra, as matérias móveis só se moveriam circularmente. Com isso, Galileu parece não ter rompido com a tradição aristotélica de considerar que o movimento reto não pode ser eterno, possuindo a finalidade de reconduzir os elementos (terra, água, ar e fogo) aos seus lugares naturais. Por fim, é importante esclarecer que Salviati defende que o movimento reto serve para reordenar as coisas que estão fora dos seus lugares naturais porque a reta é a linha mais breve (*ibid.*, p. 112), sinalizando assim estar de acordo com Aristóteles quando este diz que os corpos tendem a retornar aos seus lugares naturais o mais breve possível, pelo caminho mais curto.

Discute-se agora a intuição galileana de uma inércia circular, e assim como ocorreu em relação à negação de uma inércia retilínea, cumpre observar que os mesmos argumentos defendidos na carta a Ingoli são retomados no *Diálogo*¹⁰³, ou seja, a noção de que apenas o movimento circular está em conformidade com um mundo ordenado (pois o corpo não muda de lugar ao mover-se circularmente, permanecendo em seu

¹⁰³ Tal semelhança pode ser observada no final da supramencionada carta (ver último parágrafo da página 92).

lugar natural e assim mantendo a harmonia característica de um mundo perfeitamente disposto). Na epístola a Ingoli, Galileu afirmou que o movimento circular não afeta a constituição das partes e nem a disposição dos demais corpos, sendo que a circunferência é necessariamente algo terminado e finito (GALILEI, 2005, p. 514)¹⁰⁴; o que igualmente consta no *Diálogo*:

Salviati – [...] aquele [movimento circular] que conduz o móvel pela circunferência de um círculo em torno de seu centro estável e fixo não coloca em desordem nem a si mesmo, nem aos circunvizinhos; pois, primeiramente, tal movimento é finito e terminado, antes, não apenas finito e terminado, mas não existe ponto algum na circunferência que não seja primeiro e último término da circulação (GALILEI, 2001, p. 111-112).

Na sequência, Salviati esclarece que o fato de o móvel sempre partir e chegar ao mesmo ponto faz com que o movimento circular seja uniforme. Consequentemente, pode-se concluir que tal movimento é perpétuo, enquanto que o movimento retilíneo não pode sê-lo:

Salviati – Desta uniformidade e por ser terminado pode-se seguir, ao reiterar sempre as circulações, a continuação perpétua, a qual não se pode naturalmente encontrar em uma linha não terminada e num movimento continuamente retardado ou acelerado; afirmo *naturalmente*, porque o movimento reto que se retarda é o violento, que não pode ser perpétuo, e o acelerado chega necessariamente ao término, se ele existe; e se não existe, não pode nem mesmo existir o movimento, porque a natureza não move para aonde é impossível chegar (*ibid.*, p. 112, grifo do tradutor).

Analogamente ao que pôde ser inferido durante a análise do trecho da carta a Ingoli (p. 92), o argumento exposto acima também aponta para uma concepção circular de inércia, dado que Galileu assume que um movimento circular continuamente reiterado tende a se perpetuar. Porém, é importante ter em mente que, para Galileu, embora o movimento circular seja natural, seu surgimento teria ocorrido a partir de um movimento reto, como explica Salviati:

Salviati – Mas o movimento pela linha horizontal, que não é declive nem aclave, é movimento circular em torno do centro: o movimento circular, portanto, nunca será adquirido naturalmente sem o

¹⁰⁴ O trecho completo encontra-se no tópico 2.9 (página 92).

precedente movimento reto, mas uma vez adquirido, ele continuará perpetuamente com velocidade uniforme (*ibid.*, p. 109)¹⁰⁵.

Esclarecidos os termos através dos quais Galileu empreende sua defesa de um movimento circular perpétuo, e de como ele surge, estudar-se-ão alguns trechos da Segunda Jornada, na qual reaparece a questão da relatividade do movimento, ideia mais uma vez exemplificada mediante a experiência imaginária de um corpo abandonado do alto de uma torre ou do topo do mastro de um navio, e sendo novamente utilizada para defender a hipótese copernicana, o que também aconteceu em relação à carta a Ingoli¹⁰⁶. O cientista italiano esforçou-se em demonstrar que o fato de um objeto abandonado a certa altura cair aos pés do ponto em que fora arremessado não constitui uma evidência de que o corpo que o continha (o navio ou a Terra) estivesse parado ou em movimento. Tal ponto é desenvolvido mediante um debate entre o aristotélico Simplicio e Salviati: enquanto o primeiro admite não ter realizado a experiência do navio, recorrendo ao testemunho dos autores antigos para validar seu posicionamento, Salviati adverte-o a respeito dos erros de tal raciocínio, dizendo que tais autores podem ter agido da mesma maneira, ou seja, recorrido à autoridade de autores ainda mais antigos, sem que eles mesmos tenham efetuado a experiência. Consequentemente, talvez ninguém jamais tenha feito a experiência do navio, conforme pode-se inferir pela fala de Salviati:

Salviati – Que é possível que aqueles autores a proponham sem tê-la efetuado, vós mesmos sois um bom testemunho, porque sem tê-la feito considerais que é certa, sujeitando-vos de boa fé ao que é dito por eles: do mesmo modo que não somente é possível, mas necessário, que tenham feito eles também, ou seja, de remeter-se a seus antecessores, sem que se chegue jamais a alguém que a tenha feito; porque qualquer um que a fizer, encontrará que a experiência mostra totalmente o contrário do que está escrito: ou seja, mostrará que a pedra cai sempre no mesmo lugar do navio, esteja ele parado ou movendo-se com qualquer velocidade. Donde, por ser a mesma razão válida para a Terra e para o navio, da queda da pedra sempre perpendicularmente ao pé da torre nada se pode inferir sobre o movimento ou o repouso da Terra (*ibid.*, p. 225-226).

¹⁰⁵ Ao final dessa passagem, o tradutor Pablo Rubén Mariconda acrescentou uma nota de rodapé na qual afirma que Galileu defendeu “que o movimento-estado que se perpetua é o movimento circular uniforme e não o retilíneo, mantendo-se, assim, afastado do princípio de inércia” (MARICONDA, *in* GALILEI, 2001, p. 579, nota 34). A exposição acerca do debate entre as hipóteses de que Galileu teria intuído uma inércia circular ou retilínea será desenvolvida no Capítulo 3 deste trabalho.

¹⁰⁶ Isso está expresso no primeiro parágrafo da página 89 (tópico 2.9), anterior ao trecho selecionado da carta a Ingoli.

Depois de supor que não daria para extrair conclusões acerca da mobilidade ou imobilidade da Terra a partir da experiência da torre, Salviati prossegue sua argumentação, centrada no movimento de uma esfera sobre um plano inclinado e, posteriormente, a respeito do deslocamento dessa bola ao longo de uma superfície perfeitamente plana. Inicialmente, ele propõe a Simplicio a seguinte situação: para que este imaginasse qual seria o comportamento de uma bola perfeitamente esférica e de material duríssimo como o bronze ao ser deixada livre sobre uma superfície plana e bastante polida, dura como aço e levemente inclinada (*ibid.*, p. 226-227). Para confundir seu interlocutor, Salviati afirma acreditar que a supramencionada esfera permaneceria parada, enquanto que Simplicio defende enfaticamente que o objeto mover-se-ia naturalmente na direção do declive. A estratégia de Salviati visava fazer com que Simplicio reconhecesse que sua conclusão era derivada do exame natural da questão, sem se levar em conta a voz da autoridade (representada por Salviati, que tenta convencer Simplicio que a bola ficaria parada):

Salviati – Tendes mesmo toda a certeza de que ela se moveria espontaneamente na direção do declive?

Simplicio – Que dúvida!

Salviati – E isto vós o tendes por certo, não porque eu vos tenha ensinado (porque eu procurava persuadir-vos do contrário), mas por vós mesmos e por vosso juízo natural.

Simplicio – Agora entendo o vosso artifício; faláeis assim para tentar-me e (como vulgarmente se diz) para puxar-me o tapete, mas não porque acreditásseis verdadeiramente nisso.

Salviati – Assim é (*ibid.*, p. 227).

Com isso, Salviati parece fazer um ataque indireto à autoridade, tão estimada por Simplicio, mostrando-lhe que uma análise crítica de um problema pode resultar em uma resposta melhor do que a oferecida pelo testemunho dos antigos. Em seguida, Salviati continua a inquirir Simplicio, perguntando-lhe por quanto tempo a bola mover-se-ia, e qual seria sua velocidade, considerando que as características físicas da esfera e do plano inclinado (expostas no parágrafo anterior) foram pressupostas justamente para eliminar quaisquer obstáculos externos e acidentais ao movimento. Além disso, Salviati sugere que o impedimento do ar também não seja levado em consideração, assim como outros empecilhos que puderem ser imaginados, fazendo com que a bola fique perfeitamente livre sobre o espaço no qual se movimentaria. Respondendo ao outro, Simplicio diz que a bola deslocar-se-ia por um tempo infinito, desde que a inclinação do plano permitisse tal duração. Ao afirmar isso, Simplicio acaba admitindo o **princípio de**

conservação do movimento, que se aproxima muito do princípio inercial newtoniano, conforme se verá mais adiante. Diz Simplicio:

Simplicio – [...] quanto à vossa pergunta, respondo que ela [a bola] continuaria a mover-se ao infinito, se tanto durasse a inclinação do plano, e com um movimento continuamente acelerado; porque tal é a natureza dos móveis graves [...]: e, quanto maior fosse a inclinação, maior seria a velocidade (*ibid.*, p. 227).

Depois, ao ser questionado a respeito por Salviati, Simplicio defende que tal esfera poderia subir pela superfície, desde que arrastada ou lançada violentamente. Fiel aos ensinamentos de Aristóteles, Simplicio afirma que caso a bola tenha sido impelida violentamente para cima, seu movimento enfraquecer-se-ia continuamente, por este ser antinatural. Na sequência, Salviati pergunta a Simplicio o que aconteceria caso o móvel estivesse sobre uma superfície que não fosse um aclive e nem um declive, e ele responde da seguinte maneira:

Simplicio – [...] Como não existe declividade, não pode existir uma inclinação natural ao movimento e, não existindo aclividade, não pode existir resistência a ser movido, de modo que seria indiferente à propensão e à resistência ao movimento: parece-me, portanto, que ele [o móvel] deveria ficar naturalmente em repouso (*ibid.*, p. 228).

A ideia de que um corpo permanece em equilíbrio quando se apoia sobre uma superfície plana e paralela ao horizonte, não estando propenso ao movimento e tampouco resistindo a este, consiste em algo presente já nos primeiros textos de Galileu, como na passagem do *Le meccaniche* destacada na página 68 (tópico 2.5), na qual o autor apontou a dubiedade da bola entre o movimento e o repouso, sendo que a menor força poderia movê-la, e a menor resistência poderia mantê-la parada (GALILEI, 2008, p. 628). De acordo com Mariconda, o comportamento indiferente da bola ao ser posta sobre um plano horizontal relaciona-se com o problema da inércia (MARICONDA, *in* GALILEI, 2008, p. 638, nota 10)¹⁰⁷. De fato, por meio das falas seguintes, Salviati leva Simplicio a admitir ao menos o princípio de conservação de movimento:

Salviati – Assim acredito, quando alguém o colocasse parado; mas se lhe fosse dado [ao móvel] um ímpeto em direção a alguma parte, o que aconteceria?

Simplicio – Continuaria a mover-se na direção daquela parte.

¹⁰⁷ Ver nota de rodapé 75 (p. 68).

Salviati – Mas com que espécie de movimento? Por um movimento continuamente acelerado, como nos planos em declive, ou por um movimento sucessivamente retardado, como nos aclives?

Simplicio – Eu não consigo perceber causa de aceleração nem de retardamento, não existindo nem declividade nem aclividade.

Salviati – Sim. Mas se não existisse causa de retardamento, muito menos deveria existir de repouso: quanto acreditais, portanto, que duraria o movimento do móvel?

Simplicio – Tanto quanto durasse o comprimento daquela superfície que não é nem subida, nem descida.

Salviati – Portanto, se esse espaço fosse ilimitado, o movimento nele seria igualmente sem fim, ou seja, perpétuo?

Simplicio – Parece-me que sim, sempre quando o móvel fosse de matéria duradoura (GALILEI, 2001, p. 228-229).

O trecho do *Diálogo* indicado acima demonstra como Simplicio acabou admitindo a possibilidade de que um móvel conservaria seu movimento indefinidamente, desde que a superfície plana sobre a qual se movesse também fosse ilimitada. Trata-se de uma passagem crucial do *Diálogo*, a partir da qual se poderia concluir que Galileu teria defendido uma inércia linear, embora não de forma explícita, dado que o cientista,

“ainda que não o tenha formulado *expressis verbis* como Descartes, ao menos em certo sentido descobriu o princípio de inércia. Dissemos que ele se serve deste princípio para refutar uma objeção contra a hipótese copernicana: a da pedra que, deixada cair da torre, cai aos pés da mesma torre” (ROVIGHI, 2000, p. 58).

A relação existente entre o princípio de inércia galileano e a defesa do copernicanismo tornar-se-á mais clara a seguir. Por enquanto, o foco consiste no debate sobre se Galileu de fato teria defendido uma inércia linear, antecipando um pouco o tema do Capítulo 3. Trata-se aqui da retomada do princípio já anunciado nas páginas anteriores (conservação do movimento), relacionado à ideia de inércia: segundo Mariconda, o trecho do *Diálogo* que culmina com a enunciação de um princípio de conservação do movimento não constitui, a seu ver, em uma formulação idêntica da lei da inércia conforme foi pensada por Isaac Newton (1642 – 1727). Segundo Mariconda,

“pode-se formular o princípio galileano de conservação do movimento como segue: em um plano horizontal, um corpo permanecerá em repouso, ou conservará seu movimento para sempre, a menos que seja perturbado por algum impedimento acidental ou externo, tal como a fragilidade do corpo, a resistência do ar e o atrito entre o corpo e o plano” (MARICONDA, *in* GALILEI, 2001, p. 653, nota 81).

Embora aponte que a concepção galileana acerca da possibilidade de um movimento linear perpétuo sobre um plano horizontal aproxima-se bastante da formulação clássica de inércia (1ª lei do movimento de Newton: todo corpo tende a permanecer em repouso ou em movimento retilíneo uniforme a menos que forças atuem sobre ele obrigando-o a modificar seu estado), Mariconda observa algumas leves diferenças entre ambas. Uma delas diz respeito ao fato de que “a direção horizontal ou não inclinada não é, para Galileu, fundamentalmente a retilínea, mas a circular ao longo da circunferência terrestre” (*ibid.*, p. 653, nota 81). Em outras palavras, o cientista entendia que o plano horizontal consistia em uma superfície na qual todos os pontos estariam igualmente afastados do centro de uma circunferência, sendo que o declive caracterizar-se-ia por ser uma inclinação que se aproxima do centro da Terra, enquanto o aclave afastar-se-ia desse centro. Esse ponto pode ser notado na sequência do *Diálogo*:

Salviati – [...] Dizei-me então: qual estimais que seja a razão do movimento espontâneo daquela bola pelo plano em declive, e do movimento que não se faz sem violência pelo plano em aclave?

Simplício – Porque a tendência dos corpos pesados é a de mover-se para o centro da Terra, e somente por violência para cima em direção à circunferência; e a superfície inclinada é aquela que se aproxima do centro, enquanto o aclave afasta-se dele.

Salviati – Portanto, uma superfície que não fosse nem declive nem aclave deveria necessariamente ser em todas as suas partes igualmente afastada do centro. Mas existe alguma superfície assim no mundo?

Simplício – Não faltam: existe aquela de nosso globo terrestre, se ela fosse porém bem polida e não, como é, áspera e montanhosa; mas existe aquela da água, quando está calma e tranquila.

Salviati – Portanto, um navio que navegue na calmaria do mar é um daqueles móveis que transita sobre uma daquelas superfícies que não são nem declives nem aclives, e por isso está em condição, quando lhe fossem removidos todos os obstáculos acidentais e externos, de mover-se contínua e uniformemente com o impulso que lhe foi dado.

Simplício – Parece que deve ser assim.

Salviati – E aquela pedra que está no topo do mastro não se move, levada pelo navio, também ela pela circunferência de um círculo em torno do centro e, por consequência, com um movimento indelével nela, removidos os impedimentos externos? E esse movimento não é tão veloz quanto aquele do navio?

Simplício – Até aqui tudo vai bem (GALILEI, 2001, p. 229).

O trecho da conversação transcrito acima não apenas expressa o entendimento galileano de que uma superfície plana e paralela ao horizonte é, na verdade, algo em torno do centro de uma circunferência (que no caso tratar-se-ia do globo terrestre caso este não fosse tão acidentado, fazendo com que o exemplo dado por Simplício seja o da superfície da água), mas também indica a relação existente entre os princípios da conservação do movimento (próximo à concepção clássica da inércia) e o da

relatividade do movimento, evocando assim a defesa da tese de Copérnico ao se mencionar novamente o exemplo do navio. Em sua penúltima fala, Salviati diz que uma embarcação que transita pela superfície marítima (que não é inclinada) estaria propensa a mover-se “contínua e uniformemente com o impulso que lhe foi dado” (*ibid.*, p. 229) desde que não houvesse qualquer impedimento externo a tal deslocamento. Conseqüentemente, segundo Salviati, a pedra que repousa no topo do mastro do navio move-se da mesma maneira que este, “pela circunferência de um círculo em torno do centro” (*ibid.*, p. 229), ou seja, mantendo sempre a mesma distância do centro, independente do ponto no qual esteja. Além disso, de forma análoga ao que ocorre com a embarcação, a pedra também se desloca com um movimento perpétuo e uniforme, caso os obstáculos externos sejam removidos.

A discussão precedente constitui em uma retomada daquilo que Galileu já havia dito na Primeira Jornada, por meio de Salviati: que um movimento por uma linha perfeitamente horizontal (não inclinada) consiste em um **movimento circular ao redor do centro**, que apesar de ter sido adquirido por meio de um movimento retilíneo, persiste com velocidade uniforme (*ibid.*, p. 109)¹⁰⁸. Todavia, Simplicio não se convence de que a pedra caindo do mastro de um navio em movimento chegaria precisamente ao mesmo lugar em que atinge quando o navio está parado, e para sustentar seu ponto de vista menciona como um dos impedimentos externos o fato de que o movimento vertical da pedra para baixo inviabilizaria o seu movimento horizontal, ou seja, aquele que ela realiza em torno do centro (movimento circular) enquanto partícipe do deslocamento do navio (*ibid.*, p. 230). Isso evoca a tese galileana do **movimento composto**, já exposta na carta a Ingoli (assunto abordado na página 90), segundo a qual a pedra pode descrever simultaneamente dois movimentos diferentes e independentes. Nas palavras de Salviati:

Salviati – Quanto ao outro [impedimento], devido ao acréscimo do movimento para baixo, primeiro é evidente que estes dois [movimentos], ou seja, o circular em torno do centro e o reto em direção ao centro, não são contrários nem destrutivos entre si, nem incompatíveis, porque, no que diz respeito ao móvel, ele não se opõe de modo algum a tal movimento: porque vós mesmos já admitistes que a oposição é contra o movimento que afasta do centro, e a inclinação é para o movimento que se aproxima do centro; donde se segue necessariamente que, para o movimento que não se aproxima nem se afasta do centro, o móvel não tem oposição, nem propensão,

¹⁰⁸ A citação completa encontra-se nas páginas 99 e 100.

nem conseqüentemente causa que lhe diminua a faculdade que lhe foi impressa: e posto que a causa motriz não é uma só, que se possa, através da nova operação, enfraquecer, mas são duas distintas entre si, das quais a gravidade serve somente para puxar o móvel para o centro e a virtude impressa para levá-lo em torno do centro, não fica ocasião alguma de impedimento (*ibid.*, p. 230-231).

Ou seja, Salviati defende que os dois movimentos simultâneos da pedra (o que ela realiza em torno do centro e a queda a partir do mastro) podem coexistir, dado que o móvel não se opõe a esse movimento composto. Para clarificar tal ponto, Salviati recorre ao que o próprio Simplício dissera antes, a saber, que existe inclinação natural para o movimento que se aproxima do centro (declive), enquanto que há oposição para o movimento que se afasta do centro (aclive)¹⁰⁹. Por conta disso, Salviati conclui que no caso de um movimento que não se aproxima nem se distancia do centro (como seria o caso do movimento da pedra que está sobre o mastro do navio), não haveria propensão ou resistência ao deslocamento, de modo que ele não interfere no movimento de queda da pedra (movimento vertical). Em suma, a queda da pedra não inviabiliza o seu movimento perpétuo ao redor do centro, deslocamento que é conservado por ser algo totalmente independente do movimento vertical em direção ao convés. Como explica Mariconda:

A resposta de Salviati introduz explicitamente o *princípio de composição dos movimentos* que se associa, desse modo, estritamente ao de *conservação do movimento*. A resposta consiste, então, em afirmar que o movimento de queda não destrói o movimento horizontal já possuído pela pedra, mas que os dois subsistem no movimento composto exatamente como se agissem independentemente, produzindo, desse modo, um movimento resultante que conduz a pedra ao pé do mastro do navio em movimento. Essa resposta supõe obviamente que, no movimento composto, os movimentos componentes guardam aquelas propriedades que teriam quando ocorrem isoladamente, de modo que o movimento composto tem rigorosamente todas as propriedades dos movimentos componentes. Isso significa que, na composição, há uma independência dos efeitos dos movimentos componentes (MARICONDA, in GALILEI, 2001, p. 654, nota 82, grifos do tradutor).

Com isso, podemos dizer que qualquer movimento acidental da pedra, como o de queda, não altera a sua condição de partícipe de um movimento contínuo ao redor do centro. Contudo, um observador na Terra não é capaz de perceber o movimento

¹⁰⁹ A esse respeito, consultar trecho do *Diálogo* destacado na página 102, ocasião em que Simplício discorre sobre a declividade e aclividade; e também o início da passagem transcrita na página 104, quando Simplício diz que os corpos pesados tendem a mover-se para o centro da Terra, e que se afastam desse centro apenas forçosamente.

contínuo da pedra justamente por pertencer ao mesmo sistema móvel desse corpo, de modo que não há um referencial através do qual seja possível apontar o *estado* de movimento. Para Galileu, o movimento e o repouso são *estados* das coisas, dependentes da descrição de um observador¹¹⁰. Trata-se de um ponto já mencionado no Capítulo 1¹¹¹, e que constitui em uma das principais diferenças entre a filosofia aristotélica e a física galileana: enquanto a primeira considerava o movimento como uma mudança, algo que possuía um termo final, para Galileu tratar-se-ia apenas de “um estado inteiro e absolutamente oposto ao repouso, o outro estado” (ÉVORA, 2005, p. 130, nota 6).

Por fim, é possível afirmar que em seu *Diálogo* Galileu retomou teses já expostas na carta a Ingoli, embora de maneira bem mais elaborada e detalhada do que fizera em relação a esse texto. Contudo, o *Diálogo* não contém a totalidade dos argumentos galileanos em favor de uma visão inercial acerca do movimento: a contribuição decisiva veio com a redação do *Discorsi*, tema do próximo tópico.

2.11 Duas novas ciências (*Discorsi*), de 1638

As duas últimas obras de Galileu, nas quais ele se esforça em defender a hipótese de Copérnico (*Diálogo*) e estabelecer os alicerces de uma ciência do movimento (*Discorsi*), estão interligadas sob alguns aspectos. Primeiramente, o *Discorsi* também foi estruturado na forma dialógica, e com os mesmos personagens do texto anterior. Além disso, o *Diálogo* parece conter referências ao livro que viria em seguida, quando ao final da Quarta Jornada o personagem Sagredo manifesta a intenção de que Salviati exponha em outra oportunidade a “nova ciência do movimento”, de acordo com o Acadêmico, autor que embora não seja nomeado, trata-se do próprio Galileu¹¹². Diz Sagredo:

Sagredo – E esta poderá ser a última palavra dos nossos raciocínios destes quatro dias: se, depois disso, o Sr. Salviati desejar um certo

¹¹⁰ Ver POLITO, 2015, p. 13, citado na página 25 deste trabalho.

¹¹¹ Ver página 25.

¹¹² O elo entre os dois tratados de Galileu é apontado por Mariconda, que afirma que o *Discorsi* reúne a pesquisa concernente ao movimento dos corpos realizada por Galileu em Pádua no período de 1592 e 1610, e que o texto “cumprir a promessa feita por Salviati no *Diálogo* de apresentar e discutir com Sagredo e Simplicio os resultados alcançados pelo Acadêmico no estudo do movimento” (MARICONDA, in GALILEI, 2001, p. 841, nota 90).

tempo de repouso, convém que nossa curiosidade lhe conceda o descanso, com a condição contudo de que, quando lhe convier, volte a satisfazer o desejo, particularmente o meu, acerca dos problemas deixados pendentes, e anotados por mim para propô-los em uma ou duas outras sessões, conforme o combinado; e acima de tudo ficarei avidamente esperando para escutar os elementos da nova ciência do nosso Acadêmico em torno dos movimentos locais, natural e violento (GALILEI, 2001, p. 546).

A retomada do debate proposta por Sagredo deu-se por intermédio do *Discorsi*, em que a nova ciência do movimento é apresentada na Terceira e Quarta Jornadas, sendo o movimento local o tema da Terceira Jornada, e o movimento violento (dos projéteis) o assunto da subsequente. O *Discorsi* é um tratado que utiliza bastante demonstrações geométricas com o intuito de desvelar as principais características do movimento uniforme e do movimento acelerado. Contudo, dado que o propósito do presente trabalho é analisar a noção de inércia no trabalho de Galileu, tratar-se-á apenas de determinadas passagens da Terceira e Quarta Jornada a partir das quais se poderia deduzir que o autor expressou uma concepção inercial retilínea.

Inicialmente, é importante fazer uma breve exposição acerca da estrutura do *Discorsi*, que apesar de também ter sido elaborado de modo dialógico, contém significativas passagens na Terceira e Quarta Jornadas identificadas como textos da autoria do Acadêmico, ou seja, do próprio Galileu (que dessa maneira expressa sua visão científica diretamente, sem o intermédio de um personagem). Naturalmente, coube a Salviati apresentar e explicar tais passagens, nas quais se pode notar que Galileu retomou alguns pontos já defendidos no *Diálogo*, particularmente no que se refere aos planos horizontal e inclinado (que podem ser descendentes ou ascendentes). No decorrer do *Diálogo*, foi dito que existe uma inclinação natural para o deslocamento sobre um plano descendente, que no caso do plano ascendente existe oposição ao movimento e, por fim, que não haveria propensão ou empecilho para um deslocamento realizado sobre um plano horizontal¹¹³. No *Discorsi*, Galileu expressou as mesmas ideias, como pode ser depreendido no seguinte trecho da Terceira Jornada:

[...] num plano horizontal, o movimento é uniforme, posto que não intervém nenhuma causa que o acelere ou retarde [...]. Além disso, deve-se observar que um grau de velocidade qualquer, uma vez comunicado a um móvel, imprime-se nele de forma indelével por sua própria natureza, desde que não intervenham causas externas de

¹¹³ Esse assunto foi abordado no tópico anterior, a partir da citação da fala de Salviati na página 105.

aceleração ou retardamento; o que acontece apenas no plano horizontal (GALILEI, 1985, p. 172-173).

Além do ponto que indica explicitamente que em um plano horizontal o movimento não tende à aceleração ou retardamento, a passagem acima expressa que apenas um móvel que esteja sobre um plano horizontal está sujeito a ação de agentes externos que possam provocar aceleração ou retardamento. Isso não ocorre em planos inclinados, dado que a causa de aceleração ou retardamento depende da inclinação do próprio plano, e não de causas exteriores, conforme evidencia a sequência da passagem anteriormente destacada:

Com efeito, nos planos inclinados descendentes está presente uma causa de aceleração, enquanto que nos planos ascendentes está presente uma causa de retardamento; segue-se disso ainda que o *movimento sobre um plano horizontal é eterno*; posto que, se é uniforme, não aumenta nem diminui, e muito menos se acaba (*ibid.*, p. 173, grifo meu).

Esse trecho é igualmente importante porque contém o que podemos considerar como a enunciação da noção de inércia em Galileu, também bastante próxima da concepção inercial newtoniana¹¹⁴, pois nessa passagem parece que o cientista italiano imaginou um movimento pela linha horizontal dissociado do movimento circular, ao contrário do que expressara na Primeira Jornada do *Diálogo*, ocasião em que por meio do personagem Salviati afirmara que o movimento perpétuo por uma linha horizontal é um movimento circular ao redor do centro (GALILEI, 2001, p. 109)¹¹⁵. Em uma nota referente a esse assunto, Letizio Mariconda e Pablo Rubén Mariconda questionam se Galileu tinha em mente um movimento retilíneo uniforme. De acordo com os estudiosos, na passagem acima,

“está expresso pela primeira vez de forma clara o princípio de inércia determinadamente e não naquela forma vaga de nenhum alcance prático que os precursores de Galileu nos tinham dado. Resta, contudo, a dúvida de se esse plano horizontal deve ser entendido plano de modo muito aproximado como uma porção de superfície a nível da terra, ou se, ao contrário, deve ser entendido como movimento retilíneo uniforme” (MARICONDA; MARICONDA, *in* GALILEI, 1985, p. 283-284, grifos dos autores).

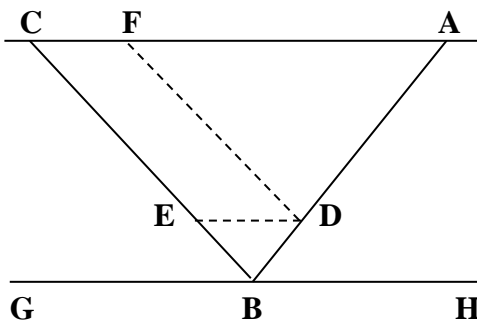
¹¹⁴ Ver página 104.

¹¹⁵ A passagem completa encontra-se nas páginas 99 e 100.

A abordagem aparentemente diferenciada do problema da inércia no *Diálogo* e no *Discorsi* também foi observada por Geymonat, que atribuiu à primeira obra uma visão equivocada a respeito do assunto:

[...] enquanto os *Massimi sistemi* deduzem erroneamente [...] o caráter inercial do movimento circular uniforme com centro no centro da Terra, os *Discorsi intorno a due nuove scienze* limitam-se a afirmar, em termos gerais, o caráter inercial do movimento plano em que faltam causas de aceleração ou retardamento do movimento (GEYMONAT, 1997, p. 242).

Na sequência, Galileu prossegue com a sua análise acerca de um movimento sobre um plano horizontal em que não atuem causas de aceleração ou retardamento, e o faz mediante raciocínio considerando também o deslocamento sobre um plano inclinado. De acordo com o autor, um móvel que tenha se deslocado sobre um plano descendente mantém o grau de velocidade máximo obtido durante tal movimento ao se deslocar por um plano ascendente, embora no movimento de ascensão atue sobre esse corpo uma inclinação natural de descida. Para ilustrar essa ideia, Galileu utiliza a seguinte representação geométrica (GALILEI, 1985, p. 173):



Diz Galileu:

Imaginemos, portanto, que o movimento acontece sobre um plano descendente AB e que, após ter sido desviado, continua imediatamente pelo plano ascendente BC. Suponhamos, primeiramente, que os dois planos são iguais e que formam ângulos iguais com a linha horizontal GH. Sabemos que um móvel que desce por AB, partindo do repouso em A, adquire graus de velocidade proporcionais ao tempo. Sabemos também que o grau de velocidade adquirido em B é maior e que é por sua própria natureza imprimido de modo imutável, sempre e quando tenham sido suprimidas as causas externas de novas acelerações ou retardamentos: de aceleração no caso em que o móvel continua a se mover sobre o plano AB prolongado; de retardamento no caso em que é desviado pelo plano ascendente BC. Ao contrário, *no plano horizontal GH, o movimento continuaria uniforme ao infinito* com o

grau de velocidade adquirido em B, após a descida a partir de A (*ibid.*, p. 173-174, grifo meu).

Segundo a passagem acima, um móvel que tenha se deslocado sobre o plano AB partindo do ponto A acelera-se continuamente até atingir o ponto B, término do plano descendente, a partir do qual o corpo não teria mais tendência de aceleração, mas apenas de conservação da velocidade que alcançou ao chegar a B, desde que prosseguisse pelo plano horizontal GH. Como está expresso acima, o móvel mover-se-ia com velocidade uniforme e perpetuamente sobre a linha GH, uma vez que sobre esta não atua qualquer causa de aceleração ou retardamento do movimento, como ocorreria caso o plano AB fosse prolongado e o corpo continuasse deslizando sobre ele, ocasião em que haveria aceleração, dado que AB é um declive; ou se o móvel prosseguisse pelo plano BC, que por ser um aclave retardaria o movimento. Ao afirmar que um objeto poderia deslocar-se indefinidamente por uma linha horizontal, e com velocidade uniforme, Galileu parece ter admitido uma inércia retilínea, antecipando a formulação da 1ª lei de Newton.

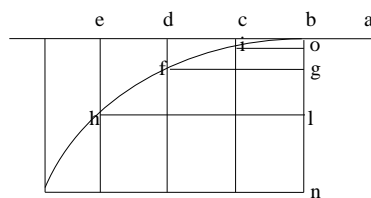
No início da Quarta Jornada, Galileu volta a tratar de um movimento uniforme e perpétuo sobre um plano horizontal, mas supondo que o móvel deslocar-se-ia com um movimento composto por um movimento uniforme e por outro naturalmente acelerado, o que segundo Galileu origina o *movimento dos projéteis*. Diz ele:

[...] imagino que um móvel foi projetado sobre um plano horizontal livre de qualquer obstáculo; já é evidente, de acordo com o que expusemos longamente em outro lugar, que dito móvel se movimentará sobre esse mesmo plano com um movimento uniforme e perpétuo, supondo que esse plano seja prolongado ao infinito. Se, ao contrário, supomos um plano limitado e situado a uma certa altura, um móvel que supomos dotado de gravidade, uma vez chegado à extremidade do plano e continuando seu curso, acrescentará ao anterior movimento uniforme e indestrutível, a tendência de ir para baixo, devido a sua própria gravidade; origina-se, assim, um movimento composto de um movimento horizontal uniforme e de um movimento descendente naturalmente acelerado, que chamo projeção (*ibid.*, p. 197).

Como consequência da ideia expressa acima, Galileu deriva o Teorema I – Proposição I da Quarta Jornada, estabelecendo que o deslocamento de um projétil é descrito por uma linha semiparabólica (*ibid.*, p. 197). Mais adiante, Salviati explica como Galileu demonstra tal proposição, ou seja, que um móvel pesado realiza uma

trajetória semiparabólica ao efetuar um movimento composto constituído por um movimento horizontal uniforme e outro naturalmente descendente:

Salviati – Seja uma linha horizontal ou um plano AB situado ao alto, sobre o qual se move um móvel com movimento uniforme de A para B. Se o apoio do plano desaparece em B, o móvel adquirirá, devido a sua própria gravidade, um movimento natural descendente pela perpendicular BN. Prolonguemos diretamente o plano AB até a linha BE, para representar o tempo ou sua medida, e sobre esta marquemos arbitrariamente um número qualquer de intervalos de tempo iguais BC, CD, DE; e, a partir dos pontos B, C, D, E, tracemos as linhas equidistantes à perpendicular BN. Na primeira destas linhas tomemos uma parte qualquer CI; na linha seguinte tomemos uma distância quádrupla DF; na seguinte, uma distância nove vezes maior EH; e continuamos fazendo o mesmo para as linhas seguintes, segundo a proporção dos quadrados de CB, DB, EB, ou seja, na razão dupla destas mesmas linhas. Se supomos que um móvel que vai de B a C com um movimento uniforme possui ao mesmo tempo um movimento de descida perpendicular igual à distância CI, dito móvel no tempo BC se encontrará no ponto I. Continuando o movimento da mesma forma, no tempo DB, que é o dobro de BC, terá descido uma distância que é o quádruplo da primeira distância CI. Com efeito, demonstramos, no primeiro tratado, que os espaços percorridos por um corpo grave com movimento naturalmente acelerado são proporcionais aos quadrados dos tempos; conseqüentemente, a distância EH, percorrida no tempo BE, será 9 vezes maior que o primeiro espaço, de modo que resulta evidente que os espaços EH, DF e CI estão entre si como os quadrados das linhas EB, DB e CB. Tracemos agora a partir dos pontos I, F e H as retas IO, FG e HL, equidistantes a EB; as linhas HL, FG e IO serão iguais respectivamente às linhas EB, DB e CB; igualmente, as linhas BO, BG e BL serão iguais a CI, DF e EH; o quadrado de HL estará para o quadrado de FG como a linha LB está para BG e o quadrado de FG estará para o quadrado de IO como GB está para BO. Conseqüentemente, os pontos I, F e H estão situados sobre a mesma parábola. Da mesma forma pode-se demonstrar que, tomado um número arbitrário de intervalos de tempo iguais e de grandezas arbitrárias, os pontos pelos quais passa um móvel com movimento similar ao anterior, ou seja, com um movimento composto dos mesmos intervalos de tempo, encontrar-se-ão na mesma linha parabólica; que é o que queríamos demonstrar (*ibid.*, p. 200-201).



(*ibid.*, p. 201)

De acordo com a passagem e figura precedentes, Galileu considera que, devido à gravidade¹¹⁶, um móvel em deslocamento pelo plano AB realizaria um movimento

¹¹⁶ É importante frisar que o entendimento galileiano de gravidade não corresponde à noção atual dada pela física moderna. Para Galileu, gravidade era a propensão de se mover para baixo, que nos corpos sólidos seria causada pela quantidade de matéria que possuíam (GALILEI, 2008, p. 610). Ou seja, Galileu

natural descendente pela linha BN, caso B representasse o término do plano sobre o qual o corpo estivesse se deslocando anteriormente. O cientista prolonga o plano AB até a reta BE, de modo que B, C, D e E representem pontos a partir dos quais são pressupostos intervalos idênticos de tempo, dados pelas linhas BC, CD e DE; e também sejam o início de linhas equidistantes à perpendicular BN, que por sua vez representam as distâncias percorridas pelo móvel.

Após representar o tempo com o plano horizontal BE, e as distâncias com as linhas perpendiculares CI, DF e EH, Galileu faz referência ao Teorema II – Proposição II da Terceira Jornada, segundo o qual um móvel que cai com um movimento uniformemente acelerado a partir do repouso percorre espaços que estão entre si como os quadrados dos tempos de deslocamento (*ibid.*, p. 136). Assim, considerando que o tempo BC é igual a 1, a respectiva distância a ser percorrida pelo corpo durante esse tempo (representada pela perpendicular CI) é dada pelo quadrado desse valor, ou seja, 1. Na sequência, como o tempo BD é igual a 2, a distância correspondente (DF) é igual a 4; do mesmo modo, sendo o tempo BE igual a 3, o espaço a ser percorrido (EH) é 9 vezes maior do que a distância percorrida no tempo BC, etc.

Dito isso, pode-se entender como se deslocaria um corpo que não estivesse mais sobre um plano indefinidamente extenso. Nesse caso, o móvel realizaria um movimento composto, prosseguindo com o movimento horizontal uniforme que lhe era característico enquanto se deslocava pelo plano AB e entrando em trajetória descendente com um movimento naturalmente acelerado (pois para cada unidade de tempo subsequente, a distância percorrida seria maior, conforme o Teorema II – Proposição II exposto acima). Como já mencionado, o movimento composto é formado por movimentos que agem de maneira independente¹¹⁷, fazendo com que o corpo possa partir do repouso ao entrar em movimento acelerado no ponto B, embora mantendo o movimento uniforme que já possuía em AB. Logo, um projétil que se desloque entre B e C efetuará simultaneamente um movimento vertical descrito pela linha CI, de modo

não entendia a gravidade como sendo uma atração mútua entre os corpos, como faria Newton anos depois, mas relacionava-a com a massa (nas palavras do cientista, quantidade de matéria). A mente galileana não concebia a gravidade como uma força que atua sobre o corpo, mas algo que pertence a este. Por conta disso, a gravidade seria invariável no tempo e no espaço, de modo que qualquer corpo “pesa o que pesa, sempre e em qualquer sítio, e cai com a mesma velocidade, seja ele colocado onde for: muito perto do centro da Terra ou, ao contrário, nas estrelas” (KOYRÉ, 1986, p. 342).

¹¹⁷ A esse respeito, consultar o texto de Mariconda (2001, p. 654, nota 82), citado na página 106.

que ao invés de chegar a C, alcançaria o ponto I ao término do movimento. Analogamente, um móvel que se deslocou durante o tempo BD chegará até F; enquanto que ao se mover entre o período BE, o objeto alcançaria H. Em outras palavras, a composição entre o movimento uniforme e o naturalmente acelerado é descrita pelos pontos I, F e H, que ao serem ligados constituem uma parábola.

Retornando ao que Galileu diz no início da Quarta Jornada, de que um móvel que se desloca ao longo de um plano horizontal isento de obstáculos movimentar-se-á de modo uniforme e perpétuo caso tal plano seja infinito (*ibid.*, p. 197)¹¹⁸, cabe afirmar que esta é uma passagem reconhecida por alguns estudiosos como sendo aquela em que o autor mais se aproxima da formulação do princípio de inércia. Trata-se de um trecho no qual é evidente a relação entre a inércia e o princípio da composição dos movimentos, conforme explica Évora:

[...] no *Discorsi e dimostrazione matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica ed ai movimenti locali*, Galileu chega muito próximo da versão correta do princípio, ao discutir o movimento de projéteis – um movimento composto por outros dois, um movimento uniforme e outro naturalmente acelerado (ÉVORA, 1994, p. 128).

Para Koyré, tal trecho da Quarta Jornada é “uma expressão do princípio de inércia” (KOYRÉ, 1986, p. 341). Todavia, ele admite que o princípio de inércia foi formulado por Descartes (1596 – 1650), e não por Galileu, assim como pontuou Rovighi (2000, p. 58)¹¹⁹. Contudo, é evidente que Galileu possuía uma noção clara de inércia, conforme podem evidenciar as passagens expostas nesse capítulo, que permitem compreender o desenvolvimento de tal noção no decorrer da obra do cientista, bem como sua relação com a defesa do copernicanismo.

2.12 Gassendi e a realização do experimento da torre

[...] em sua *Carta a Ingoli* (de 1624), [Galileu] se vangloriava de uma dupla superioridade sobre este e, em geral, sobre os físicos aristotélicos – a) por ter efetuado a experiência que eles não haviam feito; e b) por não a ter efetuado senão *depois* de haver previsto seu resultado em seu *Diálogo sobre os dois maiores sistemas do mundo*,

¹¹⁸ A citação completa encontra-se na página 111.

¹¹⁹ Ver citação na página 103.

onde justamente discute o argumento em questão –, nos diz abertamente que nunca tentou fazer a experiência. E, ainda mais, acrescenta que não tem nenhuma necessidade de fazê-la, sendo um físico tão bom que, sem qualquer experiência, pode determinar como a bola se comportaria no caso em apreço (KOYRÉ, 2011a, p. 346, grifos do autor).

De acordo com Koyré, Galileu não realizou a experiência de soltar uma bola do alto do mastro de um navio, para descobrir se tal objeto cairia ao pé do mastro estando o navio parado ou em movimento, embora tenha confirmado tal experimento na *Carta a Ingoli*. Para Koyré, Galileu tinha razão quando alegou que a experiência do navio era desnecessária para prever o comportamento da bola, pois se trataria de algo evidente para todos que tivessem entendido o conceito de movimento na física moderna¹²⁰, de modo que apenas quem não detivesse tal conhecimento veria alguma utilidade no experimento mencionado.

Talvez esse tenha sido o caso do filósofo francês Pierre Gassendi (1592 – 1655), que realizou a experiência do navio com o intuito de persuadir os outros acerca da verdade do princípio de inércia, ou mesmo para convencer a si próprio de que o princípio intuído por Galileu era válido não apenas em um espaço abstrato, “no vácuo dos espaços imaginários, mas também *in concreto*” (*ibid.*, p. 346), ou seja, na Terra. A demonstração aconteceu em Marselha, na França, conforme descrição abaixo:

“O Senhor Gassendi, tendo sempre tido tanta curiosidade em procurar justificar, através das experiências, a verdade das especulações que a filosofia lhe propõe, encontrando-se em Marselha no ano de 1641, numa galera que saiu ao mar expressamente para esse fim, [...] fez ver que uma pedra solta do ponto mais alto do mastro, enquanto a galera voga com toda a velocidade possível, não cai em lugar diferente daquele em que cairia se a mesma galera estivesse parada e imóvel. A despeito de ela vogar ou não vogar, a pedra sempre cai ao longo do mastro, a seu pé e do mesmo lado. Essa experiência [...] parece paradoxal a muitos que não a tenham visto, o que deu causa a que o senhor Gassendi compusesse um tratado *De moto impresso a motore translato* no mesmo ano, sob a forma de uma carta escrita ao Senhor Du Puy” (Cf. *Recueil de Lettres des sieurs Morin, de la Roche, de Nevre et Gassendi et suite de l'apologie du sieur Gassendi touchant la question De motu impresso a motore translato, apud KOYRÉ*, 2011a, p. 347).

A partir da experiência relatada acima, Gassendi deriva dois princípios basilares da ciência moderna: os princípios da relatividade e o da interdependência dos

¹²⁰ Ver POLITO, 2015, p. 13, citado na página 25 deste trabalho.

movimentos (KOYRÉ, 1986, p. 382). Ao ser arremessada para cima ou para baixo, a pedra realiza um movimento complexo, resultado da combinação de dois movimentos distintos e independentes, mas que ocorrem concomitantemente e são descritos por meio de uma parábola (*ibid.*, p. 382-383). Trata-se de uma trajetória composta por um movimento em linha reta (que representa o deslocamento da pedra resultante de seu arremesso) e por um movimento horizontal para frente, na direção do deslocamento do navio. A ocorrência desses dois movimentos simultâneos reafirma o *princípio de composição dos movimentos*¹²¹, que são interindependentes. A experiência de Gassendi demonstra ainda como este princípio está relacionado ao da relatividade: os tripulantes do navio só conseguem perceber o movimento vertical da pedra, sendo incapazes de notar o deslocamento horizontal do corpo porque também compartilham desse movimento, na qualidade de partícipes do deslocamento da embarcação:

[...] só o movimento relativo é perceptível. Ora nós somos, nós mesmos, levados pelo navio em movimento. E assim, <<não é de espantar que, a todos nós que estávamos na dita (a mesma) galera, o movimento aparecesse como perpendicular; pois só nos foi observável o movimento da pedra para baixo; com efeito, não se podia observar o movimento para diante porque este nos era comum com a pedra>> (*ibid.*, p. 383).

Galileu defendeu que uma pedra arremessada do topo do mastro de um navio atingiria os pés do mastro, significando que o corpo continua a acompanhar o movimento do navio mesmo não estando mais em contato com o agente que o arremessou em direção ao convés. Trata-se da tendência da pedra em persistir em seu estado de movimento ou repouso caso nenhuma força externa provoque a alteração do estado desse corpo, o que constitui o *princípio de inércia*¹²². Apesar de o movimento horizontal da pedra não ser notado pelos tripulantes do navio (que só percebem o movimento vertical de queda da pedra, devido ao princípio da relatividade), o deslocamento do corpo “para frente” é um dos componentes da trajetória descendente da pedra e provoca sua queda precisamente sobre a base do mastro. Galileu já havia intuído o princípio de inércia ao imaginar que a pedra continuava acompanhando o movimento terrestre, estando em repouso em cima do mastro ou em movimento retilíneo descendente em direção ao convés, uma vez que nenhuma força externa

¹²¹ Galileu tratou desse assunto na *Carta a Ingoli* e no *Diálogo* (ver p. 90 e 105-106 da dissertação).

¹²² Ver tópico 2.6 (p. 77).

provocaria mudança no deslocamento do projétil. Tal conclusão foi confirmada pela experiência de Gassendi, provando-se que “um corpo em movimento retilíneo e uniforme persevera indefinidamente em seu estado, se não intervém uma força para modificá-lo” (ROVIGHI, 2000, p. 40). Por isso, a pedra continua acompanhando o movimento do navio mesmo não estando mais em contato com ele, descrevendo a mesma trajetória retilínea na direção horizontal até quando se encontra suspensa no ar, em direção ao convés, sem prejuízo do seu movimento vertical de queda (princípio da composição dos movimentos). Para Gassendi,

“o movimento de queda representava, em sua componente *horizontal*, uma *instância de movimento inercial*. Dado que a *composicionalidade* não tinha qualquer influência no movimento inercial, *ele concluiu que qualquer corpo, livre de influências, deveria seguir um caminho retilíneo, em velocidade uniforme*” (POLITO, 2015, p. 12, grifos do autor).

O deslocamento inercial de um corpo que não esteja sujeito a uma força capaz de alterar a sua trajetória ocorre em direção horizontal, de modo retilíneo. No entanto, Gassendi também admitiu uma inércia circular ao tratar do movimento celeste:

[...] a origem da perpetuidade é a uniformidade, e a da cessação a desigualdade; pois só o que não cresce nem enfraquece pode perdurar; e nada pode pela força da natureza aumentar nem diminuir infinitamente. Assim, portanto, se alguém, nestas coisas compósitas, procurar um movimento que seja natural *ao máximo*, é claro que esse será o movimento dos céus, pois este é, antes de todos os outros, uniforme e perpétuo, graças à forma circular escolhida pelo criador: não tendo ela começo nem fim, ele [o movimento] pode ser uniforme e perpétuo (GASSENDI, *in De Motu*, c. IX, p. 36, *apud* KOYRÉ, 1986, p. 384).

Na sequência, Koyré sintetiza o pensamento de Gassendi dizendo que apenas a circularidade explica a uniformidade e perpetuidade do movimento celeste, acrescentando que “os movimentos circulares na Terra, em particular o movimento horizontal, hão de participar da mesma uniformidade, eternidade e naturalidade” (*ibid.*, p. 385). Ou seja, ao se verificar que a pedra efetivamente cai sobre a base do mastro do navio, comprova-se que o movimento horizontal descrito pela pedra resulta do fato de que ela participa do movimento circular terrestre, assim como o navio, de modo que mesmo quando estão em repouso em relação a um referencial na superfície terrestre, tanto a pedra quanto o navio deslocam-se horizontalmente em função do movimento circular da Terra.

A concepção inercial de Gassendi também possui um caráter metafísico. Influenciado pelo pensamento de Epicuro (341 a.C. – 271-270 a.C.), Gassendi acreditava na existência dos átomos e do vácuo (KOYRÉ, 2011a, p. 338), algo relacionado com o seu princípio de inércia devido ao fato de que este estava associado à compreensão de um espaço dotado de *simetrias*, através do qual ocorria o movimento dos átomos. Tais simetrias serviram de suporte para o princípio de inércia de Gassendi (POLITO, 2015, p. 12). A caracterização do espaço como um vazio possibilitou que Gassendi concebesse o movimento por esse espaço como algo que não estaria sujeito à ação da gravidade (força externa capaz de alterar a trajetória inercial do corpo), de maneira que ao se deslocar por um espaço vazio e desprovido de uma força que pudesse afetar o seu movimento, o corpo manter-se-ia continuamente em linha reta. Segundo Crombie, Gassendi

“tinha aprendido com Demócrito e Epicuro a conceber o espaço como um vazio, e com Kepler a considerar a gravidade como uma força externa [...]. Ele concluiu, portanto, em seu *De Motu Impresso a Motore Translato*, publicado em 1642, que como um corpo movendo-se por si só no vazio não seria afetado pela gravidade, e uma vez que esse espaço era indiferente aos corpos nele, como o espaço de Aristóteles e seus remanescentes em Galileu não eram, o corpo continuaria em uma linha reta para sempre. Gassendi, portanto, publicou pela primeira vez a afirmação explícita de que o movimento que um corpo tendia a conservar indefinidamente era retilíneo, e que uma mudança na velocidade ou na direção exigia a operação de uma força externa [...] Com a completa geometrização da física, o princípio do movimento inercial tornou-se assim autoevidente”¹²³ (CROMBIE, 1961, p. 159).

Gassendi foi o primeiro a publicar uma enunciação correta do princípio de inércia (KOYRÉ, 1986, p. 381-382), através da carta *De Motu Impresso a Motore Translato* (KOYRÉ, 2011a, p.347). Entretanto, ele foi precedido por Descartes na expressão do princípio, deduzido no livro “O Mundo” (*Le Monde*), que Descartes iniciou um pouco antes de 1633, mas que não foi publicado durante a vida do autor porque este temia possíveis represálias das autoridades que haviam condenado Galileu, de modo que a divulgação do trabalho não ocorreu até 1664 (CROMBIE, 1961, p. 159-

¹²³ No original: “had learnt from Democritus and Epicurus to conceive of space as a void, and from Kepler to regard gravity as an external force [...]. He therefore concluded, in his *De Motu Impresso a Motore Translato* published in 1642, that since a body moving by itself in a void would be unaffected by gravity, and since such a space was indifferent to the bodies in it, as Aristotle's space and its remnants in Galileu were not, the body would continue in a straight line forever. Gassendi thus first published the explicit statement that the movement which a body tended to conserve indefinitely was rectilinear, and that a change in either velocity or direction required the operation of an external force [...] With the complete geometrisation of physics, the principle of inertial motion thus became self-evident”.

160). Para Polito, o princípio de inércia cartesiano obteve mais destaque que o de Gassendi, talvez em virtude das inconsistências apresentadas pelo último. Isso ocorreu porque em

“escalas astronômicas, ele [Gassendi] admitia que o movimento inercial pudesse ser circular e, em escalas microscópicas, que os átomos tivessem características *anímicas* – como, aliás, havia sugerido Epicuro – de modo que seu movimento poderia ser errático e aleatório” (POLITO, 2015, p. 12, grifo do autor).

Embora a enunciação correta do princípio de inércia por parte de Gassendi não tenha alcançado o mesmo êxito que a formulação de Descartes, este foi superado pelo conterrâneo francês em um aspecto essencial: provavelmente, Gassendi foi o primeiro pensador pré-newtoniano a identificar a gravidade como uma força externa¹²⁴, e não como uma propriedade do próprio corpo, como acreditava Galileu¹²⁵; defendendo também que o movimento derivado da gravidade possuía caráter violento, ao invés de natural (*ibid.*, p. 12). Todavia, apesar das particularidades dos enunciados de Gassendi e Descartes, ambos compartilham a mesma essência, estabelecida

“em termos de uma *relação entre a manutenção do estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme e a ausência de causas externas atuantes*. Basicamente, Gassendi e Descartes estabeleceram o princípio cujo enunciado foi integralmente adotado por Newton, na sua primeira lei” (*ibid.*, p. 12-13, grifos do autor).

De fato, Newton aperfeiçoou as concepções acerca do movimento inercial que haviam sido desenvolvidas por Galileu, Gassendi e Descartes; e através de sua teoria gravitacional, efetuou a síntese da física galileana com a kepleriana (REALE; ANTISERI, 1990, p. 186)¹²⁶. O enunciado newtoniano de inércia representa a forma pela qual o princípio é aceito atualmente, “de um modo completamente articulado com uma teoria geral e consistente do movimento” (POLITO, 2015, p. 3), por sua vez denominada *mecânica newtoniana*, que consiste no fundamento de todas as outras teorias da física (*ibid.*, p. 3).

¹²⁴ Ver página anterior.

¹²⁵ Ver nota de rodapé 116 (p. 112-113).

¹²⁶ Ver citação completa na página 52.

CAPÍTULO 3. DISCUSSÕES ATUAIS ACERCA DA INÉRCIA GALILEANA E SUA RELAÇÃO COM A CAUSALIDADE

3.1 Introdução ao debate: inércia circular ou retilínea?

Após o estudo histórico-filosófico da tradição de pensamento que possibilitou que Galileu refletisse acerca do movimento inercial e apresentasse suas conclusões a respeito, nomeadamente no *Diálogo* e no *Discorsi*, evidenciou-se que o cientista tinha uma noção clara de inércia¹²⁷. Todavia, os pormenores concernentes ao entendimento que Galileu tinha a respeito do movimento inercial permanecem como objeto de estudo para filósofos e historiadores da ciência. A questão em aberto entre alguns comentadores atuais do cientista é sobre se ele teria defendido uma inércia circular ou retilínea. Nesse capítulo, empreender-se-á um estudo acerca desse debate contemporâneo, com o intuito de identificar os argumentos que corroboram cada uma das teses, contrapondo-as. Por fim, discutir-se-á a relação entre a inércia e a questão da causalidade.

No decorrer do Capítulo 2, foram identificadas algumas passagens da obra de Galileu a partir das quais se poderia advogar a favor da hipótese de que o cientista intuiu uma inércia circular; entretanto, outros trechos fundamentam a argumentação de que Galileu teria entendido a inércia como algo de caráter linear¹²⁸. Tal possibilidade oriunda dos próprios textos de Galileu deve ser considerada, para uma melhor compreensão das análises dos comentadores do cientista. No tópico 3.2, apresentar-se-á o que alguns comentadores entendem por “inércia circular”, e por que consideram que tal ideia não representa um enunciado definitivo da lei da inércia (ÉVORA, 1994, p. 128); analisar-se-ão os argumentos a favor de um princípio de conservação do movimento circular, relacionados à defesa do movimento da Terra (MARICONDA; VASCONCELOS, 2006, p. 149), e por que isso não representa uma defesa de uma inércia circular; além de apresentar a ideia da inércia circular como um mero artifício propagandístico do *Diálogo*, empreendido por seu autor (DRAKE, 1970, p. 253, *apud* ÉVORA, 1994, p. 131) ou uma dedução equivocada de Galileu a partir do experimento

¹²⁷ Ver o último parágrafo do tópico 2.11 (p. 114).

¹²⁸ Ver tópico 2.8 (p. 86).

mental de análise do movimento de uma bola perfeitamente redonda deslocando-se sobre uma superfície descendente, ascendente ou plana, interpretação contida no *Diálogo* (GEYMONAT, 1997, p. 241-242). Percebe-se que mesmo considerando a hipótese de uma inércia circular, tal interpretação parece estar bastante suscetível a críticas. Conforme se verá no próximo tópico com mais detalhes, o conceito de conservação do movimento circular não é equivalente à concepção cartesiana de inércia e nem à Primeira Lei de Newton (MARICONDA; VASCONCELOS, 2006, p. 148).

No tópico 3.3, apresentar-se-ão os argumentos que favorecem a tese de que Galileu compreendeu o movimento inercial como sendo de natureza retilínea. De acordo com Geymonat (1997, p. 242), Galileu corrige no *Discorsi* o erro cometido no *Diálogo*, admitindo que o movimento plano poderia ser inercial em caso de ausência de condições de aceleração ou retardamento, ao invés de considerar o movimento circular uniforme como algo inercial, como supostamente fizera no *Diálogo*. De fato, o *Discorsi* expressa a ideia de que o “*movimento sobre um plano horizontal é eterno; posto que, se é uniforme, não aumenta nem diminui, e muito menos se acaba*” (GALILEI, 1985, p. 173, grifo meu)¹²⁹, sugerindo uma concepção retilínea da inércia. No tópico dedicado à análise da linearidade, apresentar-se-ão trechos do *Discorsi*, além dos argumentos que corroboram a hipótese de que Galileu entendia a inércia como sendo retilínea, entendimento compartilhado por vários comentadores, dos quais podemos citar Geymonat e Drake, cujas posições a respeito do tema serão apresentadas por meio de passagens selecionadas de alguns de seus trabalhos.

3.2 – Inércia circular

No *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo*, por meio do personagem Salviati, Galileu supõe que as partes do mundo estão perfeitamente dispostas, de modo que é naturalmente impossível que estas mudem de lugar e, por consequência, um movimento retilíneo, que representa uma mudança local (GALILEI, 2001, p. 99)¹³⁰. Para Galileu, o movimento circular era o único que não contradizia a ideia de um universo ordenado, e cujos pontos de partida e chegada consistiam no mesmo, o que o

¹²⁹ A passagem completa encontra-se na página 109 da dissertação.

¹³⁰ O trecho da argumentação de Salviati encontra-se na página 96 da dissertação.

tornava uniforme¹³¹. Segundo Salviati, tal movimento é perpétuo, pois é constantemente reiterado (*ibid.*, p. 112)¹³². O fato de que Galileu defendeu um movimento circular uniforme e perpétuo fundamenta a interpretação de que o cientista teria intuído uma inércia circular. Contudo, a discussão é sobre se esse movimento constitui-se em uma “inércia” ou em um “princípio de conservação do movimento”.

De acordo com Évora (1994, p. 125), Simplicio acaba admitindo o “princípio de inércia galileano” ao responder às indagações de Salviati, que pergunta ao interlocutor acerca de qual seria o movimento de uma bola feita de um material duro como o bronze, ao deslocar-se por uma superfície plana e lisa, também constituída por um material duro (tal como o aço) e levemente inclinada em relação ao horizonte (*ibid.*, p. 124). Simplicio defende que a bola descreveria um movimento descendente em direção ao declive, e ao voltar a ser inquirido por Salviati, dessa vez acerca da duração e velocidade do deslocamento, diz que:

Simplicio – [...] ela [a bola] continuaria a mover-se ao infinito, se tanto durasse a inclinação do plano, e com um movimento continuamente acelerado; porque tal é a natureza dos móveis graves [...]: e, quanto maior fosse a inclinação, maior seria a velocidade (GALILEI, 2001, p. 227).

Continuando seus questionamentos, Salviati pergunta a Simplicio sobre a possibilidade de que a bola se deslocasse em direção ao aclave, ao que o aristotélico responde compreender como possível, desde que o objeto fosse forçado a empreender tal trajetória. Em seguida, Simplicio explica que tal movimento enfraquecer-se-ia continuamente por ser antinatural, sendo a sua duração dependente da intensidade do impulso e do tamanho do aclave (*ibid.*, p. 228). Após essas considerações de Simplicio acerca do deslocamento da bola na direção de um declive ou aclave, sobre um plano inclinado, Salviati formula o que Évora chama de “questão crucial” (ÉVORA, 1994, p. 125), perguntando ao seu interlocutor “o que aconteceria com o mesmo móvel sobre uma superfície que não estivesse nem em aclave nem em declive” (GALILEI, 2001, p. 228).

¹³¹ Ver tópico 2.10 (p. 99).

¹³² *Idem.*

De acordo com Évora, a resposta de Simplicio levou-o a enunciar, involuntariamente, o princípio galileano de inércia, por admitir a tendência natural do móvel ao repouso caso não estivesse sobre uma superfície na qual houvesse declividade ou aclividade. Ainda segundo Simplicio, se tal móvel recebesse um ímpeto em direção a alguma parte, ele mover-se-ia em tal direção, e sem que existisse qualquer tendência de aceleração ou retardamento, dado que a superfície não seria um declive ou um aclive. Por sua vez, Salviati pontua que não havendo causa de retardamento, tampouco existiria de repouso, inquirindo Simplicio sobre qual seria a duração do movimento do corpo nesse caso. É nesse momento em que, segundo Évora, Simplicio acaba admitindo o princípio de inércia, pois ao responder que o móvel deslocar-se-ia pelo tempo em que durasse o comprimento da superfície, ele admite que tal movimento seria perpétuo se o espaço no qual o corpo se deslocasse fosse ilimitado e o móvel constituído por matéria duradoura (*ibid.*, p. 228-229)¹³³.

Évora destaca que Galileu enuncia o seu princípio de inércia “sobre uma superfície sem nenhuma inclinação, para cima ou para baixo, ou seja, sobre uma superfície horizontal” (ÉVORA, 1994, p. 127). Ou seja, a inércia é inferida a partir de uma superfície paralela ao horizonte, e não simplesmente a partir de uma superfície plana inclinada (declives ou aclives). Devido ao fato de Galileu ter intuído a inércia refletindo acerca do movimento de um corpo sobre uma superfície plana e horizontal, então:

[...] podemos dizer que até o momento Galileu enunciou o princípio da inércia tal qual Newton o fez anos mais tarde – todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, exceto quando é compelido por uma força aplicada sobre ele a mudar seu estado (*ibid.*, p. 127).

Ou seja, enquanto discutiu o deslocamento do corpo sobre um plano paralelo ao horizonte, Galileu teria compreendido a inércia tal como a física clássica o faria a partir dos trabalhos de Newton. Entretanto, Évora observa que o cientista italiano cometeu uma falácia na sequência do seu argumento, ocorrida quando Salviati pergunta a Simplicio o motivo do movimento voluntário da bola através do declive e o

¹³³ A passagem do Diálogo referente à argumentação desse parágrafo encontra-se citada nas páginas 102 e 103 da dissertação. O tema foi retomado para uma melhor compreensão do argumento de Évora concernente a uma “inércia circular”.

deslocamento forçado do mesmo corpo na direção do aclave. Simplicio justifica o comportamento da bola da seguinte forma:

Simplicio – [...] a tendência dos corpos pesados é a de mover-se para o centro da Terra, e somente por violência para cima em direção à circunferência; e a superfície inclinada é aquela que se aproxima do centro, enquanto o aclave afasta-se dele.

Salviati – Portanto, uma superfície que não fosse nem declive nem aclave deveria necessariamente ser em todas as suas partes igualmente afastada do centro. Mas existe alguma superfície assim no mundo?

Simplicio – Não faltam: existe aquela de nosso globo terrestre, se ela fosse porém bem polida e não, como é, áspera e montanhosa; mas existe aquela da água, quando está calma e tranquila (GALILEI, 2001, p. 229)¹³⁴.

Évora explica que quando Galileu busca explicar a trajetória da bola sobre um plano inclinado (e conseqüentemente o princípio de inércia), o cientista formula uma justificativa que compreende a superfície na qual ocorre o deslocamento como sendo algo circular, e não mais horizontal (ÉVORA, 1994, p. 127-128). Em outras palavras, Galileu supôs que a superfície onde ocorreria o movimento perpétuo tratar-se-ia da daquela ao redor da Terra, entendida como a superfície tranquila dos mares. Conforme destacou Mariconda, “a direção horizontal ou não inclinada não é, para Galileu, fundamentalmente a retilínea, mas a circular ao longo da circunferência terrestre” (MARICONDA, *in* GALILEI, 2001, p. 653, nota 81), razão pela qual o comentador defendeu que Galileu enunciou um princípio de conservação do movimento circular, e não a lei da inércia aos moldes da que foi estabelecida por Newton¹³⁵. Na concepção de Galileu, em um plano horizontal todos os pontos estariam uniformemente distantes do centro de uma circunferência, sendo o declive e o aclave uma aproximação ou afastamento do centro da Terra, respectivamente¹³⁶. Continuando a sua exposição, Salviati supõe que um navio deslocando-se sobre a calma superfície marítima prosseguiria contínua e uniformemente a partir do impulso inicial caso não houvessem obstáculos externos a serem transpostos. Ademais, ele destaca que a pedra no topo do mastro se move “pela circunferência de um círculo em torno do centro e, por consequência, com um movimento indelével nela, removidos os impedimentos externos” (GALILEI, 2001, p. 229). O movimento do navio pela superfície não

¹³⁴ Trecho anteriormente citado na página 104, mas novamente mencionado por ser necessário para a compreensão da interpretação de Évora acerca da circularidade da inércia galileana.

¹³⁵ Ver páginas 103 e 104.

¹³⁶ Ver página 104.

inclinada, e conseqüentemente o deslocamento da pedra sobre o mastro, reforça o entendimento de que Galileu teria intuído uma inércia circular ou, na interpretação de alguns estudiosos (como Mariconda), um “princípio de conservação do movimento circular”. O fato é que mesmo os comentadores que defendem a existência de um princípio de inércia circular na obra de Galileu frisam que tal ideia não representa um enunciado definitivo da lei da inércia. Nesse sentido, Évora concorda com Feyerabend ao chamar de “princípio da inércia circular” o princípio intuído por Galileu (ÉVORA, 1994, p. 128).

Por sua vez, Feyerabend afirma que o princípio da relatividade, aliado ao “princípio da inércia circular”, permite que se continue defendendo o movimento da Terra. Segundo o autor, o princípio da relatividade explica o porquê “uma pedra que se move ao longo de uma torre móvel parece cair ‘verticalmente’, sem que a vejamos tombar segundo um arco” (FEYERABEND, 1977, p. 130); mas frisa que também é necessário elucidar o motivo pelo qual a pedra continua acompanhando a torre. Para Feyerabend, o comportamento da pedra pode ser explicado por meio do “princípio da inércia circular”, segundo o qual “um objeto, que se move, com determinada velocidade angular em uma esfera livre de atrito, ao redor da Terra, continuará a mover-se com a mesma velocidade angular, para todo o sempre” (*ibid.*, p. 131). É o caso da pedra e da torre, que partilham um movimento que não pode ser percebido (o de rotação terrestre, por serem partícipes do movimento da Terra)¹³⁷.

Outros especialistas concordam com a ideia de que um movimento circular perpétuo não se constituiria em um princípio de inércia, ao menos não de forma plena. Segundo essa interpretação, Galileu poderia ser considerado como uma espécie de precursor do princípio de inércia, mas o cientista italiano

“não chegou ao princípio da inércia, na forma newtoniana, mas seus estudos nessa direção fizeram com que Newton lhe atribuísse o mérito dessa descoberta. Galileu admite que um corpo lançado sobre um plano horizontal e não sujeito a nenhum obstáculo se desloca

¹³⁷ Sobre o movimento de rotação dos corpos terrestres, Mariconda e Vasconcelos explicam que “pelo princípio da relatividade, o movimento de rotação torna-se um *componente invariante* de todos os movimentos terrestres, cujas relações entre si não diferem, portanto, daquilo que aconteceria se a Terra estivesse em repouso. Ou seja: os movimentos de corpos próximos à superfície da Terra apresentam-se ao observador terrestre de modo indistinto, quer esteja a Terra em movimento, quer esteja privada dele” (MARICONDA; VASCONCELOS, 2006, p. 134-135, grifo dos autores).

indefinidamente em movimento uniforme [...]. Contudo, ele entende por superfície horizontal aquela cujos pontos são todos equidistantes de um mesmo ponto, o centro da Terra. Desse modo, um movimento perpétuo, para Galileu, só ocorre para um corpo em movimento circular. Esse é o que se poderia denominar de seu princípio da inércia” (PEDUZZI, 2015, p. 157).

A observação de Peduzzi está em consonância com a explicação de Mariconda acerca da natureza do plano horizontal segundo Galileu, que seria algo circular ao redor da circunferência da Terra¹³⁸. A concepção galileana de conservação do movimento circular uniforme não corresponde ao conceito clássico de inércia conforme compreendido por Descartes e Newton, justamente por não estar associada ao entendimento de que o movimento inercial ocorre sobre uma superfície retilínea. Cabe observar que o deslocamento de um navio sobre uma superfície horizontal efetua um movimento circular, de natureza diversa do princípio de inércia da física clássica, segundo o qual “todo corpo tende a permanecer em repouso ou em movimento retilíneo uniforme a menos que forças atuem sobre ele obrigando-o a modificar seu estado” (1ª lei do movimento de Newton):

[...] um navio que viajasse com movimento uniforme sobre a superfície do mar sem atrito conservaria seu movimento circular uniforme sobre a superfície da Terra. [...] nessa situação do movimento de um corpo sobre um plano, o movimento conservado é, levando-se em consideração a situação local terrestre, o movimento circular uniforme de um corpo que se desloca sem impedimento sobre a superfície da Terra (MARICONDA; VASCONCELOS, 2006, p. 152-153).

O ponto é que Galileu não teria enunciado o princípio de inércia devido ao fato de não ter identificado o movimento horizontal perpétuo (realizado ao longo da circunferência terrestre) como sendo de natureza retilínea, mas sim como circular. Newton compreendeu a natureza retilínea do princípio, enquanto que Galileu não teria conseguido avançar em direção à formalização da ideia por sua fixação demasiada na conservação do movimento circular. Em seu estudo *Inertial problems in Galileo's preinertial framework*, Wallace Hooper destaca:

Koyré considerou o fascínio de Galileu com o movimento circular uniforme como um obstáculo básico que o impediu de compreender o

¹³⁸ Ver página 124.

princípio de inércia. Especificar a direção retilínea é uma característica importante do princípio¹³⁹ (HOOPER, 1998, p. 168).

De fato, Koyré expressa claramente que o princípio de inércia é válido apenas para movimentos retilíneos, o que implica a descaracterização do movimento rotacional da Terra como sendo inercial:

Não é, porém, de *qualquer* movimento que o princípio de inércia nos assegura a persistência eterna, tal como acabamos de dizer, mas apenas do movimento *uniforme em linha recta*. O princípio não é válido para o movimento circular. Também não é válido para o movimento de rotação (KOYRÉ, 1986, p. 202, grifos do autor).

A concepção de Koyré sobre a natureza do movimento inercial aproxima-o do parecer de Mariconda de que Galileu enunciou um princípio de conservação do movimento, e não de inércia¹⁴⁰. De acordo com Mariconda e Vasconcelos, um navio deslocando-se sobre a superfície dos mares também é composto pelo movimento rotacional da Terra (que compõe o movimento de todos os corpos terrestres)¹⁴¹. Contudo, segundo Koyré, o navio não estaria em uma trajetória inercial, uma vez que esta não ocorre sobre uma superfície horizontal na qual todos os pontos estão ligados ao centro da Terra, não sendo válida para deslocamentos rotacionais.

Em suas considerações a respeito da inércia, Stillman Drake parece associá-la unicamente ao caráter perpétuo do movimento, sem considerar se este se daria sobre uma superfície circular ou retilínea. Drake aparentemente não associa um movimento circular perpétuo apenas a um princípio de conservação do movimento, a exemplo de Mariconda, e nem a inércia somente com um movimento retilíneo uniforme e perpétuo.

¹³⁹ No original: “Koyré regarded Galileo's fascination with uniform circular motion as a basic stumbling block that kept him from grasping the principle of inertia. Specifying the rectilinear direction is an important feature of the principle”.

¹⁴⁰ O conceito galileano de conservação do movimento “não é a lei da inércia que René Descartes vai pouco depois enunciar e que Isaac Newton incorporará como primeira lei do movimento. Ainda assim, inegavelmente, encontram-se no *Diálogo* as primeiras explicações modernas envolvendo argumentos de conservação de movimento” (MARICONDA; VASCONCELOS, 2006, p. 148). Ver página 124 da dissertação.

¹⁴¹ Para os autores, dentre as situações nas quais Galileu aplicou o “princípio da conservação do movimento” em seu *Diálogo*, a mais evidente é “a da conservação, pelas coisas terrestres, da rotação diurna da Terra – por exemplo, discutindo a queda da pedra do alto da torre, Galileu afirma que ela possui ao cair ‘dois movimentos naturais, a saber, o retilíneo para o centro e o circular em torno do centro’. É evidente que se trata da conservação de um movimento circular uniforme. Nesse sentido, pode-se dizer que o movimento de rotação da Terra, que é componente invariante de todos os movimentos terrestres, conserva-se” (*ibid.*, p. 148-149).

Drake parece caracterizar qualquer movimento perpétuo como inercial, pontuando que, dependendo da ocasião, Galileu compreendeu esse movimento como retilíneo ou circular:

Galileu, nas condições de físico, tratou os movimentos inerciais como retilíneos. Não obstante, Galileu, na condição de propagandista, ao escrever o *Dialogo*, assinalou que o movimento retilíneo não pode ser perpétuo, enquanto pode sê-lo o circular (DRAKE, 1970, p. 253 *apud* ÉVORA, 1994, p. 131).

Importante recordar que o *Diálogo* visou à defesa da visão de mundo copernicana, refutando os argumentos contrários ao movimento terrestre. Nesse sentido, Galileu teria atuado como propagandista ao supor o movimento circular perpétuo como forma de “dar apoio à teoria copernicana e escapar às dificuldades do argumento da torre” (ÉVORA, 1994, p. 132). Ademais, Évora menciona que o princípio galileano da inércia circular não teria sido proposto com base em experimentos ou observações, citando Feyerabend:

Passo a passo, Simplicio é forçado a admitir que um corpo que se move sem atrito em uma esfera concêntrica com o centro da Terra executará um movimento sem limites e perpétuo. Esta afirmação, é claro, não se baseia sobre a experiência nem sobre teoria corroborada; é uma nova e ousada sugestão envolvendo um extraordinário salto de imaginação (FEYERABEND, 1970, p. 322 *apud* ÉVORA, 1994, p. 132).

Segundo Évora, o princípio da inércia circular explica porque uma pedra abandonada do alto de um navio alcança sempre a base do mastro, independentemente de a embarcação encontrar-se em repouso ou movimento (ÉVORA, 1994, p. 134). Polito concorda que Galileu enunciou um princípio de inércia circular, e que apesar de o cientista italiano ter desenvolvido no *Diálogo* as idéias que culminariam na formulação do princípio, este teria aparecido claramente apenas no *Discorsi* (POLITO, 2015, p. 9):

O modo como Galileu introduziu essa ideia [inércia] acabou por implicar uma forma do princípio condicionada a uma situação experimental específica, o que o levou a enunciar um *princípio de inércia circular*, ao invés de retilíneo. Para Galileu, *um corpo, em movimento num plano horizontal ideal, ou seja, sem atrito, continuaria a mover-se com velocidade uniforme até que alguma influência externa operasse no sentido de mudá-la*. Em resumo, não seria necessária qualquer força para manter um corpo em movimento, nesse plano (*ibid.*, p. 9, grifos do autor).

Para Geymonat, o princípio galileano de inércia é demonstrado tanto no *Diálogo* quanto no *Discorsi* por meio de um experimento mental, definido como um experimento não realizado ou passível de efetivação, mas somente imaginado (GEYMONAT, 1997, p. 241). Trata-se do “experimento” apenas idealizado de uma bola deslocando-se sobre um plano horizontal, superfície que permite o deslocamento perpétuo do corpo (*ibid.*, p. 241-242). Segundo Geymonat, no *Discorsi* Galileu tornou mais preciso o princípio de inércia já anunciado no *Diálogo*, pois apesar de partir da mesma argumentação nas duas obras, o cientista italiano aprofundou a questão, algo que pode ser percebido a partir da comparação entre as conclusões obtidas em cada texto. No *Diálogo*, deduz-se de modo errôneo a natureza inercial do movimento circular uniforme concêntrico à Terra, enquanto que o *Discorsi* afirma apenas que o movimento plano é inercial na ausência de causas de aceleração ou desaceleração do movimento (*ibid.*, p. 241-242). Geymonat destaca que apesar de Galileu ter aperfeiçoado a sua noção de inércia no *Discorsi*, o cientista não conseguiu obter uma formulação geral do princípio, uma vez que não compreendeu a natureza da gravidade corretamente. Para Galileu, a gravidade era um componente do próprio corpo, e não uma força atuando sobre ele. Para Koyré, Galileu chegou “até o limiar de tal princípio sem, no entanto, penetrá-lo com plena consciência científica” (*ibid.*, p. 243)¹⁴².

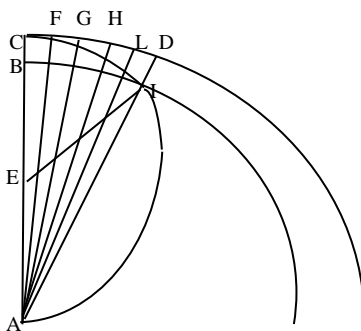
Comentadores como Júlio Vasconcelos criticaram a ideia de que Galileu tenha estabelecido um “princípio de inércia circular”. Dentre essas críticas, consta a discussão acerca de uma passagem do *Diálogo* conhecida pelo termo *bizarria*, na qual o cientista apresenta o movimento composto da queda de uma pedra do topo de uma torre como sendo formado pelo seu próprio deslocamento retilíneo descendente associado ao movimento rotacional circular da Terra e dos corpos terrestres (VASCONCELOS, 2005b, p. 208). Constante na Segunda Jornada do *Diálogo*, a *bizarria* é utilizada por alguns proponentes da inércia circular para fundamentar sua tese porque, nesse trecho, Galileu teoriza acerca da queda da pedra em consonância com a concepção circular da inércia (VASCONCELOS, 2005a, p. 406). De fato, ao ser indagado por Sagredo sobre

¹⁴² Koyré realmente problematiza sobre se Galileu teria ou não formulado o princípio de inércia. Para o estudioso, trata-se de “saber *por que* é que, na sua luta pela matematização do real, Galileu não chegou a estabelecer, pelo menos expressamente [...], o tal princípio de inércia que os seus sucessores e discípulos adoptaram” (KOYRÉ, 1986, p. 262, grifo do autor). A assertiva de Geymonat de que Koyré teria afirmado que Galileu não expressou de fato o princípio de inércia encontra respaldo em um trecho do estudo “Galileu e a Lei da Inércia”, quando Koyré diz que “Galileu não formulou o princípio de inércia. No caminho que do cosmos bem ordenado da ciência medieval e antiga leva ao universo infinito da ciência clássica, ele não foi até ao fim. A Descartes é que foi dado fazê-lo” (*ibid.*, p. 343, grifos do autor).

como alguém localizado fora da Terra em rotação perceberia a trajetória descendente da pedra, Salviati explica que tal movimento seria circular (VASCONCELOS, 2005b, p. 216). Considerando que o movimento retilíneo descrito pela queda da pedra é continuamente acelerado, a linha resultante de sua composição com o movimento circular para o oriente (deslocamento da Terra) alcança sempre, nas palavras de Salviati,

“uma proporção maior, afastando-se sucessivamente da circunferência daquele círculo que teria desenhado o centro de gravidade da pedra, quando ela tivesse ficado sempre sobre a torre; e é necessário que esse afastamento seja pequeno no princípio, antes mínimo, ou ainda, minimíssimo, posto que o grave descendente, partindo do repouso, ou seja, da privação do movimento para baixo, e entrando no movimento reto para baixo, deve passar por todos os graus de lentidão que existem entre o repouso e qualquer velocidade, graus os quais são infinitos” (GALILEI, 2001, p. 246).

Em síntese, o que se afirmou acima foi que a composição dos movimentos causada pela queda da pedra (formada pelo movimento retilíneo descendente e pelo movimento rotacional da Terra) é descrita por um arco de circunferência (CI, na representação abaixo) que continuamente se distancia do arco de circunferência que teria representado o deslocamento da pedra caso esta tivesse permanecido sobre a torre, e que consiste no movimento da edificação sobre a superfície terrestre (CD). Na figura a seguir, a Terra encontra-se representada pelo arco BI, sendo o ponto C o topo da torre, a partir do qual se descreveria o movimento de uma pedra dotada apenas do movimento rotacional da Terra, da qual é partícipe, trajetória que culminaria em D. Mas ao cair da torre, o corpo percute na superfície terrestre, no ponto I. Os pontos de intersecção do arco de circunferência CI com as linhas iniciadas em F, G, H, L e D representam os locais onde a pedra se encontra em cada momento de sua queda, tornando possível perceber que a cada instante o arco que representa o movimento composto da pedra afasta-se mais do semicírculo que descreveria o deslocamento do corpo sobre a torre:



(*ibid.*, p. 246)

Segundo Drake (VASCONCELOS, 2005b, p. 222), a *bizarria* não visou a descrição exata da pedra descendente, mas sim apresentar no *Diálogo* as “três pequenas meditações” com as quais Salviati encerra seu argumento: a primeira delas preceitua que a bola executa um movimento circular simples, da mesma maneira como quando permanecia sobre a torre; a segunda diz que são iguais as distâncias percorridas pela bola caso esteja em cima da torre ou em direção ao solo; e a terceira estabelece que o movimento da pedra é constante e uniforme, uma vez que as distâncias CD e CI são percorridas em tempos iguais (GALILEI, 2001, p. 247). Nas palavras de Drake, trata-se de considerar que o movimento do corpo mantém a forma circular (primeira meditação) e a distância percorrida (segunda meditação) “em qualquer dos dois movimentos naturais – aquele da rotação diurna, quando em repouso no topo da torre, ou aquele da queda livre até sua base” (DRAKE, 1968, p. 99 *apud* VASCONCELOS, 2005b, p. 223). Segundo o estudioso, essas duas reflexões visam a refutação da tese aristotélica de que os movimentos circulares são próprios dos corpos celestes, e de que os movimentos retilíneos são empreendidos pelos corpos terrestres. A terceira meditação, acerca da uniformidade do movimento, serve à intenção galileana de tornar desnecessária a investigação sobre as causas da aceleração, algo que segundo Drake é reafirmado no *Discorsi* (*ibid.*, p. 223). Complementa o autor:

“a *bizarria* contém a única aplicação não-ambígua da inércia circular que se encontra nos escritos de Galileu. E aqui o conceito aparece não como uma lei física, mas como uma implicação geométrica do fato observacional de que uma pedra que cai roça a parede de uma torre alta de cima a baixo, assumindo-se que a torre se move para leste em rotação uniforme” (*ibid.*, p. 223-224).

Dado que a *bizarria* seria o único argumento galileano suficientemente forte para corroborar a tese da inércia circular, tal hipótese fica descaracterizada caso se considere a premissa de que a *bizarria* consistiu apenas em um meio para a introdução das três meditações supracitadas, ao invés de representar uma “teoria geral da queda dos corpos”. Ademais, o próprio Galileu confirma a interpretação de que a *bizarria* não deve ser vista como a expressão fidedigna da trajetória da pedra cadente, mas como uma mera “brincadeira” contida no *Diálogo*, conforme assume em uma carta ao matemático francês Pierre de Carcavi, datada de 5 de junho de 1637. Na epístola, Galileu reconhece que a composição entre um movimento circular uniforme e um retilíneo acelerado

resulta em uma espiral, contrariando o esquema proposto no *Diálogo*, no qual tal combinação era descrita por uma semicircunferência:

“embora tenha sido dito no *Diálogo* que pode ser que a mistura do [movimento] retilíneo do cadente com o uniforme circular do movimento diurno compusesse uma semicircunferência que terminaria no centro da Terra, isto foi dito como brincadeira [...], como aliás manifestamente aparece, uma vez que vem chamada de [...] ‘*bizzarria*’” (KOYRÉ, 1955, p. 343 *apud* VASCONCELOS, 2005b, p. 225).

Após mencionar a supracitada passagem, Vasconcelos questiona como foi possível que Galileu caracterizasse apenas como brincadeira um argumento apresentado de maneira tão longa e entusiasta. Para o estudioso, o caso é que apesar de Salviati ser o porta-voz de Galileu, as formulações científicas mais bem estabelecidas são sempre creditadas ao “Acadêmico”, ou seja, ao próprio Galileu. Dessa forma, Galileu não teria tido problemas ao rotular a *bizzarria* como brincadeira, já que tal argumentação era oriunda da mente de Salviati, e não do “Acadêmico” (VASCONCELOS, 2005b, p. 225-226).

Para Vasconcelos, o que se poderia considerar como a *inércia galileana* é um trecho do *Discorsi* no qual o cientista enuncia a conservação do grau de velocidade (ou seja, do movimento) sem fazer referência a características circulares ou lineares dos movimentos, mas somente apontando que a manutenção do grau de velocidade dar-se-ia sobre uma superfície horizontal (VASCONCELOS, 2005a, p. 411). A passagem em questão está contida no Escólio (explicação) do Problema IX – Proposição XXIII da Terceira Jornada do *Discorsi*:

[...] deve-se observar que um grau de velocidade qualquer, uma vez comunicado a um móvel, imprime-se nele de forma indelével por sua própria natureza, desde que não intervenham causas externas de aceleração ou retardamento; o que acontece apenas no plano horizontal (GALILEI, 1985, p. 173).

3.3 – Inércia retilínea

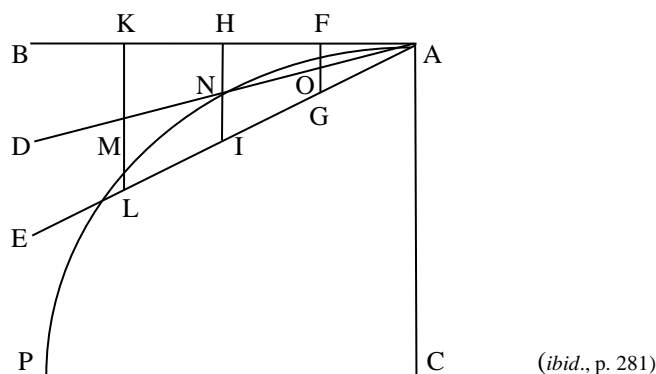
Ao defender a tese de que as partes constituintes do mundo encontram-se em disposição exemplar, argumento constante na Primeira Jornada do *Diálogo*, Salviati discorreu acerca da naturalidade da conservação do movimento circular, e da

impossibilidade de que tal propriedade se estendesse ao movimento retilíneo. Ainda segundo Salviati, a naturalidade do movimento retilíneo implicaria seu caráter perpétuo, dado que a linha reta é infinita e indeterminada, mas o porta-voz de Galileu alinha-se a Aristóteles ao rechaçar essa possibilidade, argumentando que a natureza não possibilita o movimento para onde é impossível chegar (GALILEI, 2001, p. 99). Nesse momento, Salviati rejeita claramente a persistência do movimento reto, atribuindo a este o único propósito de ter servido para ordenar os corpos no início do universo, que após a sua perfeita disposição tenderiam naturalmente ao movimento circular, caso fossem móveis, cabendo ao movimento retilíneo apenas a tarefa de desordená-los (*ibid.*, p. 99-100). Segundo Salviati, o movimento reto não pode persistir indefinidamente, afinal sua função é ordenar o que está fora do lugar natural, sendo que a própria natureza impõe limites à trajetória retilínea (*ibid.*, p. 99).

Considerando-se a argumentação acima, pareceria que Galileu não teria defendido a conservação do movimento retilíneo, permanecendo, como observou Mariconda, “afastado do princípio de inércia” (MARICONDA, *in* GALILEI, 2001, p. 579, nota 34). Entretanto, estudos recentes demonstram que em certas passagens de sua obra, Galileu intuiu a conservação do movimento retilíneo, trechos que teriam sido ignorados pelos intérpretes da inércia circular (VASCONCELOS, 2014, p. 264). Dentre essas passagens, há o chamado *argumento da extrusão*, apresentado no *Diálogo*, livro do qual também são extraídos excertos para fundamentar a tese da inércia circular. A extrusão consiste em uma tradicional objeção mecânica à rotação diurna da Terra, apresentada por Ptolomeu e seus discípulos, para os quais o movimento terrestre causaria a dispersão não apenas dos corpos que estão sobre a superfície, mas também da própria Terra, cujas partes desagregar-se-iam devido à velocidade da rotação (MARICONDA; VASCONCELOS, 2006, p. 130).

Para salvaguardar o copernicanismo das críticas dos ptolomaicos, Galileu precisou lidar com o problema da extrusão. A resposta do cientista envolveu sua teoria a respeito da conservação do movimento quando, para verificar se o movimento terrestre de fato provocaria a extrusão, ele imaginou como se deslocaria um corpo após seu arremesso. Coube a Salviati a apresentação do argumento:

Salviati – Tracemos, portanto, uma linha perpendicular para o centro, e seja esta AC e, formando ângulos retos com ela, seja a horizontal AB, sobre a qual se faria o movimento da projeção e pela qual continuaria o projétil com um movimento uniforme, quando a gravidade não o inclinasse para baixo. Seja agora traçada do ponto A uma linha reta, a qual forme com AB um ângulo qualquer, e seja esta AE, e marquemos sobre AB alguns espaços iguais AF, FH, HK, e a partir deles tracemos as perpendiculares FG, HI, KL, até AE. E posto que, como já foi dito, o grave em queda, partindo do repouso, vai adquirindo sempre um grau maior de velocidade de tempo em tempo, à medida que o tempo vai crescendo, podemos imaginar que os espaços AF, FH, HK representam tempos iguais, e as perpendiculares FG, HI, KL, os graus de velocidade adquiridos em ditos tempos, de modo que o grau de velocidade adquirido em todo o tempo AK seja como a linha KL com respeito ao grau HI adquirido no tempo AH, e o grau FG no tempo AF, graus KL, HI, FG que têm (como é evidente) a mesma proporção que os tempos KA, HA, FA; e se outras perpendiculares forem traçadas arbitrariamente dos pontos marcados na linha FA, sempre se encontrarão graus menores e menores ao infinito, indo para o ponto A, que representa o primeiro instante de tempo e o primeiro estado de repouso: e este recuo para A representa a primeira propensão ao movimento para baixo, diminuída ao infinito pela aproximação do móvel ao primeiro estado de repouso, aproximação a qual é aumentável ao infinito (GALILEI, 2001, p. 280-281).



Na representação proposta por Galileu, a reta AB descreveria o movimento uniforme do projétil *na ausência de gravidade*¹⁴³. Todavia, um corpo que estivesse sobre a Terra em rotação não seria arremessado de modo a percorrer a linha reta tangente AB que se liga à semicircunferência AP (que representa a superfície terrestre), devido a sua inclinação natural de direcionar-se para o centro da Terra. O caso é que apesar da sua propensão em conservar o movimento retilíneo que lhe foi indelevelmente impresso no instante do seu lançamento em A, o corpo não o faz porque esse ímpeto é muito menor do que a tendência do projétil de mover-se para o centro da Terra.

¹⁴³ Para Galileu, a gravidade consistia apenas na propriedade descendente dos corpos, causada pela quantidade de matéria (massa) que possuíam. Ver nota 116 (p. 112-113).

Conforme explicou Salviati na passagem acima, o ponto A representa simultaneamente o momento inicial de tempo e também de repouso, sendo que a rotação terrestre faria com que uma pedra efetuasse um movimento retilíneo uniforme infinitamente pequeno, incapaz de superar a propensão da pedra de buscar o centro. Tal particularidade

“assegura, em qualquer caso, que a pedra não será lançada. Assim, entendemos ‘perfeitamente que a pedra não se separará da Terra, porque o seu afastamento no início seria tão e tão mínimo, que bem mil vezes mais será a inclinação que tem a pedra de mover-se para o centro da Terra’” (MARICONDA; VASCONCELOS, 2006, p. 155).

Pode-se resumir a estratégia de Galileu dizendo que ele valeu-se das condições físicas locais (gravidade) para justificar a falta de extrusão dos corpos terrestres ocasionada pelo movimento da Terra. É importante frisar que, de acordo com o raciocínio de Salviati, se o peso do corpo não o impelisse em direção ao centro da Terra, tal projétil deslocar-se-ia linearmente, o que implicaria a *conservação do movimento retilíneo uniforme*. O peso confere uma inclinação descendente ao projétil, e ao fazê-lo acaba provocando o encurvamento da linha que descreve a trajetória do grave. Assim, de acordo com Galileu, não haveria efeito extrusivo para qualquer corpo terrestre, já que ao ser arremessado por algo extenso, como a Terra em rotação, “o corpo reteria o ímpeto (impresso indelevelmente) de ‘continuar seu movimento pela linha reta tangente que toca o círculo descrito pelo movimento do arremessador no ponto de separação’” (*ibid.*, p. 154).

Em suma, a exposição acerca da impossibilidade da extrusão dos corpos não apenas auxiliou o copernicanismo a contornar uma das principais críticas que até então lhe eram feitas (que o movimento da Terra lançaria os corpos no espaço), mas também consistiu em um argumento favorável à interpretação de que Galileu considerou a possibilidade da conservação do movimento retilíneo. A reta sobre a qual ocorreria a extrusão caso não houvesse gravidade (AB) é horizontal, mas é um erro interpretá-la como sendo uma linha cujos pontos ligam-se ao centro da Terra, dado que ela consiste em uma reta que se distancia do centro da circunferência terrestre. Por essa razão, o argumento galileano contra a extrusão oferece suporte para a interpretação da conservação do movimento retilíneo, ao invés de fortalecer a tese da inércia circular:

Note-se que a “horizontal” AB aqui é uma linha reta que se afasta do centro da Terra, e não pode, de modo algum, ser entendida como uma linha circular como fazem os defensores da “inércia circular”. Mais: Salviati diz explicitamente que sobre esta linha essencialmente reta o movimento permaneceria uniforme, o que solapa o ponto de vista de que a “inércia circular” descreve perfeitamente as concepções galileanas de movimento inercial, que seria exclusivamente circular (VASCONCELOS, 2014, p. 261).

Assim como o *Diálogo*, o *Discorsi* também integrou o projeto galileano de defesa do copernicanismo, mas enquanto a primeira obra ocupou-se da refutação das objeções interpostas à tese (como, por exemplo, as referentes à queda dos graves), o *Discorsi* cuidou de estabelecer as leis mecânicas a partir das quais se tornou possível responder aos críticos de Copérnico. O *Discorsi* representou o aprofundamento da análise outrora empregada no *Diálogo* com o intuito de demonstrar cientificamente o copernicanismo, e foi nesse sentido que a nova obra aperfeiçoou o princípio de inércia, que nas palavras de Geymonat consiste na “base última de todo o ‘raciocínio copernicano’ dos *Massimi sistemi*” (GEYMONAT, 1997, p. 241).

Embora defenda que a demonstração do princípio inercial galileano esteja presente no *Diálogo* e no *Discorsi*, Geymonat aponta que a conclusão obtida na última obra consistiu em um aprofundamento da questão, dado que a natureza inercial do movimento plano passou a ser condicionada ao fato de este não estar sujeito a causas de aceleração ou retardamento (*ibid.*, p. 242). Trata-se de uma consideração acerca da conservação do movimento retilíneo que vai ao encontro do que Vasconcelos considera como sendo aquilo “que se pode chamar de a ‘inércia galileana’” (VASCONCELOS, 2014, p. 267)¹⁴⁴, concepção assumida por Galileu em um Escólio na Terceira Jornada do *Discorsi*¹⁴⁵, no qual o cientista afirma que determinado grau de velocidade conservar-se-á em um móvel “desde que não intervenham *causas externas de aceleração ou retardamento*” (GALILEI, 1985, p. 173, grifos meus). Tal ideia evidencia que Galileu foi o precursor do enunciado clássico da inércia, pois ao conceber a manutenção do grau de velocidade sobre um corpo, o cientista rompeu com a noção aristotélica de movimento como “processo”.

¹⁴⁴ Vasconcelos introduz entre aspas a expressão *inércia galileana* por defender que o movimento inercial não aparece nos trabalhos de Galileu (nem mesmo em sua concepção retilínea), propondo que isso apareceu apenas na obra de Descartes e Newton. Para o comentador, o que se poderia considerar como a “inércia” de Galileu consiste unicamente na ideia da conservação do grau de velocidade (VASCONCELOS, 2014, p. 267).

¹⁴⁵ Ver citação na página 132 (tópico 3.2).

A assertiva de que Galileu não privilegia nenhuma espécie de movimento (retilíneo ou circular) parece justificar-se pelo fato de que o cientista admite a conservação tanto do movimento circular ao redor da Terra (*bizarria*), quanto do movimento retilíneo em um plano inclinado ascendente (VASCONCELOS, 2014, p. 268). O professor Milton Vargas concorda com essa definição, ao dizer que a lei da inércia galileana consiste no caráter constante da velocidade sobre planos horizontais e não inclinados. Ademais, Vargas deriva tal conceito de movimento inercial do princípio galileano de “que as velocidades atingidas por um mesmo móvel em planos diferentemente inclinados eram sempre iguais a alturas iguais” (VARGAS, 1989, p. 143).

A ideia galileana da conservação do movimento preceitua que o grau de velocidade manter-se-á em um corpo na ausência de fatores externos de aceleração ou retardamento *sobre um plano horizontal* (GALILEI, 1985, p. 173). Considerando-se que nesse plano horizontal todos os pontos estariam igualmente afastados do centro de uma circunferência, não haveria razão para aceleração ou retardamento, já que o plano horizontal não seria nem descendente e nem ascendente, mantendo a uniformidade do movimento em um plano horizontal.

Com efeito, nos planos inclinados descendentes está presente uma causa de aceleração, enquanto que nos planos ascendentes está presente uma causa de retardamento; segue-se disso ainda que o movimento sobre um plano horizontal é eterno; posto que, se é uniforme, não aumenta nem diminui, e muito menos se acaba (GALILEI, 1985, p. 173).

Essa composição de movimentos opostos faz com que a trajetória ascendente seja retardada, já que a tendência do corpo é efetuar um movimento descendente. Até aqui, isso parece adequado à interpretação dos proponentes da “inércia circular”, que apontaram o caráter retardado de um movimento ascendente na hipótese do plano horizontal ser caracterizado como retilíneo. Porém, mesmo considerando que o movimento sobre um plano inclinado ascendente tornar-se-ia retardado devido à inclinação do corpo “para baixo”, “o grau máximo de velocidade adquirido durante a descida se conserva perpetuamente idêntico no plano ascendente” (GALILEI, 1985, p. 173). Ou seja, há a *manutenção do grau de velocidade sobre uma superfície retilínea*, a despeito do movimento acelerado que conduz o móvel para baixo. Com isso, refuta-se a

tese da “inércia circular” ao tempo em que a hipótese da conservação do movimento retilíneo torna-se mais plausível. Vasconcelos comenta a passagem do *Discorsi* destacada acima nos seguintes termos:

“se acabamos de ler acima uma claríssima declaração de conservação de movimento retilíneo e não de movimento circular, se, além disso, o movimento que se conserva é ascendente e não horizontal, não há como salvar a interpretação da ‘inércia circular’” (VASCONCELOS, 2005b, p. 215).

Mesmo defendendo que a obra de Galileu não dispõe de um enunciado completo a respeito do movimento inercial¹⁴⁶, Vasconcelos admite que supor a manutenção do grau de velocidade sobre um plano ascendente configura-se como algo de natureza inercial. Ademais, o comentador observa que Galileu referia-se a um movimento retilíneo que se distancia do centro da Terra, ou seja, que

“não tem nada a ver com ‘inércia circular’ ou mesmo ‘inércia horizontal’, que aqueles intérpretes [da inércia circular] entendem – já que o plano horizontal é, a rigor, uma superfície circular – ser uma aproximação da ‘inércia circular’” (VASCONCELOS, 2014, p. 266).

A descrição galileana do deslocamento retilíneo ascendente sobre um plano inclinado como sendo o produto da composição de dois movimentos de tendências opostas (um uniforme plano ascendente, cujo grau máximo de velocidade foi adquirido durante a descida precedente, algo que tende a se perpetuar sobre o corpo; e um acelerado plano descendente, ocasionado pela gravidade) relaciona-se com a defesa da *estrutura matemática do mundo*. Isso acontece porque é possível interpretar matematicamente a já citada passagem do *Discorsi* sobre a permanência perpétua do grau de velocidade, cuja redação mais completa deu-se da seguinte forma:

Se investigamos, portanto, o que acontece quando um móvel, após ter descido por um plano inclinado qualquer, passa a subir por outro plano, parece razoável admitir que o grau máximo de velocidade adquirido durante a descida se conserva perpetuamente idêntico no plano ascendente; contudo, na subida lhe sobrevém uma inclinação natural para baixo, ou seja, um movimento acelerado que, partindo do repouso, segue na proporção habitual (GALILEI, 1985, p. 173).

Trata-se da concepção de um movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), no qual há uma aceleração constante e diferente de zero. A formulação

¹⁴⁶ Ver nota 145, na página 138.

matemática moderna que descreve o MRUV é dada por $V = V_0 \pm a.t$, equação geral que compreende tanto uma aceleração positiva ou negativa (por isso o sinal “±”). No enunciado acima, o “grau máximo de velocidade” que se mantém perpetuamente no plano ascendente representa a velocidade inicial (V_0), já que quando o móvel desviou-se em direção ao plano ascendente, o grau inicial de velocidade correspondia justamente à velocidade máxima adquirida durante a descida; enquanto que o “movimento acelerado que, partindo do repouso, segue na proporção habitual” consiste nos fatores “aceleração” e “tempo”, descritos por $a.t$. Cumpre observar que o movimento acelerado do qual fala o enunciado acima ocorre em sentido contrário ao da “velocidade inicial” (V_0) obtida durante o deslocamento descendente do móvel, que é “para cima”, enquanto que o movimento acelerado é “para baixo”. Por conta disso, a equação que efetivamente descreve o movimento imaginado por Galileu apresenta o sinal negativo para a aceleração do corpo: $V = V_0 - a.t$ (VASCONCELOS, 2014, p. 266-267).

Por fim, pode-se ainda mencionar a posição clara de Stillman Drake a respeito do assunto. Para o estudioso, poder-se-ia citar apenas uma passagem da obra de Galileu para provar que este admitiu a possibilidade de uma inércia retilínea, defendendo que o

“mais claro e melhor exemplo, bem como o mais importante, é a existência da discussão na Segunda Jornada do *Diálogo* em que Galileu responde ao argumento de que a rotação da Terra arremessaria objetos que repousavam sobre sua superfície”¹⁴⁷ (DRAKE, 1970, p. 267).

De fato, o trecho do *Diálogo* que Drake transcreve em seguida permitem inferir a possibilidade de que após ser arremessado mediante um movimento circular, um corpo poderia continuar em trajetória retilínea indefinidamente, caso não fosse desviado em direção ao centro da Terra devido à gravidade, tornando curvilínea a trajetória do projétil e, portanto, descrita por meio de uma parábola. Tal passagem consiste em um excerto de uma fala de Salviati:

Salviati – [...] o movimento circular do arremessador imprime no projétil o ímpeto de mover-se (quando acontece que eles se separam) pela reta tangente ao círculo do movimento no ponto da separação, e

¹⁴⁷ No original: “clearest and best example, as well as the most important, is the existence of the discussion in the Second Day of the *Dialogue* in which Galileo replies to the argument that rotation of the earth would cast off objects resting on its surface”.

continuando o movimento por essa tangente, afasta-se sempre do arremessador; e dissestes que por tal linha reta o projétil continuaria a mover-se, quando não lhe fosse acrescentada pelo próprio peso uma inclinação para baixo, da qual deriva a encurvação da linha do movimento (GALILEI, 2001, p. 275)¹⁴⁸.

Após citar a passagem supramencionada do *Diálogo*, Drake prossegue com sua argumentação a favor de uma inércia retilínea, apontando como se daria a conservação do movimento em linha reta caso não houvesse a ação da gravidade:

“o movimento retilíneo, se pudesse continuar, seria uniforme, e esta concepção é confirmada pelo diagrama de Galileu, em que tempos iguais são postos ao longo da tangente. O caso de um projétil impulsionado por um canhão havia sido discutido anteriormente e resumido [...]: ‘Projéteis continuam seu movimento ao longo de uma linha reta que segue a direção do movimento que eles tinham junto com a coisa que os projetou enquanto estavam conectados com ela’. Aqui, como em outros lugares, Galileu não afirma que um canhão verdadeiro nunca *está* em repouso, ou que a trajetória absoluta da bola seria realmente reta, mas a *possibilidade* de uma trajetória reta é apontada pela declaração”¹⁴⁹ (DRAKE, 1970, p. 267, grifos do autor).

Ao que parece, Galileu já antecipa no *Diálogo* um esboço da argumentação acerca do movimento dos projéteis, plenamente desenvolvida no *Discorsi* (GALILEI, 1985, p. 197). A despeito da diferença concernente ao objetivo da argumentação de cada livro¹⁵⁰, é possível perceber que em ambos os casos Galileu defende que a gravidade do móvel é a responsável por desviá-lo de seu movimento retilíneo uniforme, tornando curvilínea a trajetória do corpo, e acrescentando a este um movimento acelerado

¹⁴⁸ A sequência da fala de Salviati explicita que após ser desviado de sua trajetória retilínea, o corpo prossegue em direção ao centro da Terra: “Parece-me também que soubestes por vós mesmos que esse encurvamento tende sempre para o centro da Terra, porque para lá tendem todos os graves” (GALILEI, 2001, p. 275).

¹⁴⁹ No original: “the rectilinear motion, if it could continue, would be uniform, and this conception is confirmed by Galileo’s diagram, in which equal times are laid off along the tangent. The case of a projectile impelled by a cannon had been previously discussed and summed [...]: ‘Projectiles continue their motion along a straight line which follows the direction of the motion that they had together with the thing projecting them while they were connected with it’. Here, as elsewhere, Galileo does not assert that an actual cannon ever *is* at rest, or that the absolute path of the ball would ever actually be straight, but the *possibility* of a straight path is pointed out by the statement”.

¹⁵⁰ Tal passagem do *Discorsi* encontra-se citada no capítulo anterior (tópico 2.11), na página 111. Cumpre ressaltar que não se trata do mesmo caso, pois no *Diálogo* a argumentação visa responder ao problema da extrusão dos corpos que a rotação terrestre supostamente causaria, enquanto que no *Discorsi* discute-se simplesmente como se daria o deslocamento de um móvel sobre um plano horizontal na ausência de forças contrárias a tal movimento, condição que faria com que este se tornasse perpétuo.

descendente¹⁵¹. Assim, torna-se claro que nas duas obras Galileu admitiu como factível a conservação do movimento retilíneo, tanto como continuidade do deslocamento de um corpo não sujeito à ação da gravidade (*Diálogo*) quanto em razão da conservação do grau de velocidade de um móvel (*Discorsi*).

3.4 – Inércia e a questão da causalidade

A abordagem sobre o tema da inércia desenvolvida nos capítulos e tópicos precedentes relaciona-se inegavelmente aos aspectos históricos da ciência, embora sem desconsiderar as diversas implicações filosóficas propiciadas pela discussão sobre o movimento, a começar pelas contribuições de Aristóteles e de todos os seus sucessores. No presente tópico, propõe-se algo mais marcadamente filosófico, a partir de um debate acerca da relação entre a inércia e a questão da causalidade. Antes de desenvolver essa análise, convém apontar as conexões entre a noção aristotélica de movimento e a causalidade, com o intuito de identificar a ruptura galileana com o pensamento vigente à época, que se refletiu no entendimento sobre qual a ação dos agentes causais durante o movimento de um corpo.

Para a filosofia aristotélica, existe um agente causal envolvido na efetivação de qualquer movimento (natural ou violento). No que concerne aos movimentos naturais, as causas correspondem às “potências” dos corpos em se moverem e permanecerem em seus lugares naturais (POLITO, 2015, p. 6), ocupando a respectiva esfera que representa o elemento que compõe majoritariamente o corpo que se move. Assim, por exemplo, um corpo composto majoritariamente pelo elemento “terra” dirigir-se-á ao centro da esfera terrestre, lugar natural desse corpo. Tais potências podem ser compreendidas como sendo *causas finais*, sendo este o tipo de causalidade associado ao deslocamento natural dos móveis. Por sua vez, os movimentos violentos relacionam-se a *causas eficientes*, dado que as trajetórias antinaturais dos corpos dependem do contato constante com um agente externo que mantém os projéteis em movimento: trata-se de uma *força*, entendida como uma ação exercida sobre o corpo movente (*ibid.*, p. 6). É importante frisar que ambas as causas correspondem a um mesmo efeito:

¹⁵¹ Geymonat caracteriza o movimento retilíneo uniforme como sendo “inercial”, e o movimento retilíneo naturalmente acelerado como “gravitacional”, sendo que a composição de ambos resulta em um movimento de natureza parabólica (GEYMONAT, 1997, p. 245) que descreve a trajetória dos projéteis.

A teoria aristotélica afirmava, explicitamente, que, em ambos os casos – movimentos naturais ou violentos –, o efeito correspondente à causa final, no primeiro caso, ou correspondente à causa eficiente, no segundo, é a *mudança de lugar* (em função do tempo), ou seja, o próprio *movimento* (*ibid.*, p. 6, grifos do autor).

Os movimentos naturais e violentos dos corpos sublunares não são inerciais porque em qualquer caso existe um agente causal envolvido. O mesmo acontece em relação aos corpos supralunares, uma vez que seus deslocamentos também foram explicados por Aristóteles mediante a ação de um *Primeiro Motor* imóvel e eterno, *causa final* a qual se associam os movimentos naturais desses corpos. Ou seja, apesar de o movimento circular na esfera celeste persistir de forma contínua, ele não possui caráter inercial.

Para a ciência galileana, o movimento é um estado, sendo que sua caracterização (definida pela velocidade) depende da ação de forças¹⁵². Na ausência de forças, a velocidade é constante ou nula, em relação a um referencial. Na presença de forças, a velocidade é variável, daí a presença de aceleração. É a caracterização do movimento, por meio da velocidade, que indica a presença ou ausência de agentes externos para um dado referencial considerado. Para Galileu, movimento e repouso são estados através dos quais determinado corpo pode apresentar-se a um observador externo, ao invés de se constituírem em propriedades intrínsecas desses mesmos corpos. Assim como ocorre em relação à Primeira Lei do Movimento de Newton, a noção galileana de inércia implica que “repouso e movimento retilíneo uniforme devam ser considerados meras *aparências*, e não efeitos reais. Nesse sentido, são *equivalentes* e a aparência é devida [...] ao estado de movimento dos *observadores*” (*ibid.*, p. 4, grifos do autor). O fato é que “negar a existência de um agente causal para a mudança de posição está no cerne da concepção de inércia de Galileu, Descartes e Newton” (*ibid.*, p. 4, nota 1). Ou seja, *a inércia galileana pode ser compreendida como sendo a permanência de um estado de movimento ou de repouso dissociado de agentes causais*, que não são necessários para a manutenção desses estados. Trata-se da *ausência de alterações na velocidade*.

Com o advento da física clássica, na época de Galileu, não se compreendia mais a ação de causas finais como sendo algo constante na ciência do movimento. Enquanto

¹⁵² Enquanto a filosofia aristotélica compreendia a ação de forças externas apenas para o caso de movimentos violentos, Galileu aboliu a diferenciação entre movimento natural e movimento violento, explicando todo e qualquer movimento a partir da presença ou ausência de forças.

que os movimentos naturais dos corpos terrestres e celestes estavam associados a uma causalidade final (na filosofia aristotélica), a ciência galileana prescindiu dessa obrigação. *A mecânica de Galileu abandonou a ideia de causa final* e, para completar, dissolveu a dicotomia movimento natural *versus* movimento violento¹⁵³:

“para a física clássica, não há movimento *natural*; também não há, para falar com rigor, movimento *violento*: nenhum movimento resulta da ‘natureza’ de um móvel, tal como de uma semelhante ‘natureza’ não pode provir um repouso. Daqui se segue, evidentemente, que nunca se comete ‘violência’ com a natureza do móvel: este é, acabamos de o dizer, perfeitamente indiferente ao estado em que é posto” (KOYRÉ, 1986, p. 202-203, grifos do autor).

Assim, de acordo com Galileu, não existiria um movimento natural que requeresse a ação de causas finais. Além das implicações mecânicas, o abandono da causalidade final no pensamento de Galileu trouxe também consequências teológicas, já que no caso dos movimentos supralunares, o Primeiro Motor que garante o deslocamento dos corpos celestes consiste em uma causa final, espécie de causalidade que Galileu desconsidera em sua explicação mecânica do mundo. Contudo, o cientista não ousou eliminar completamente a ação causal do seu sistema explicativo, afinal se o fizesse estaria excluindo a própria ideia do Deus cristão que mantém todas as coisas (identificado com o Primeiro Motor aristotélico). Portanto, a inovação galileana impactou tanto a tradição aristotélica quanto as concepções religiosas medievais:

A filosofia medieval, que tentava explicar os *porquês* últimos dos fatos, ao invés de seu *como* imediato e que realçava, assim, o princípio da causalidade final (pois a resposta a essa pergunta só pode ser dada em termos de propósito ou uso), tivera sua própria concepção de Deus. Aí estava a hierarquia teleológica das formas aristotélicas, que culminavam em Deus, ou na Forma Pura, cabendo ao homem uma posição intermediária, em termos de realidade e importância, entre ele e o mundo material. [...] Ora, estando a superestrutura, a partir do homem para cima, banida do reino primário, o qual, para Galileu, identifica-se com átomos materiais em suas relações matemáticas, o *como* dos fatos passa a ser o único objeto do estudo exato e deixa de haver lugar para qualquer tipo de causalidade final. [...] Mas que fazer com Deus? [...] A única maneira de mantê-lo no universo era inverter a metafísica aristotélica e encará-lo como a Primeira Causa Eficiente, ou o Criador dos átomos (BURTT, 1991, p. 78, grifos do autor).

Ao invés de continuar aceitando que Deus seria o fundamento último da realidade física (causa final), Galileu reinterpretou-o como sendo uma *causa eficiente*,

¹⁵³ Newton foi o responsável pelo abandono definitivo da distinção entre movimento natural e movimento (POLITO, 2015, p. 6).

tornando-o assim um “imenso inventor mecânico, a cujo poder se faz apelo somente para explicar o aparecimento inicial dos átomos” (*ibid.*, p. 78). Dessa forma, torna-se evidente que na elaboração de seu pensamento, *Galileu não abandonou a noção de causa, mas a aperfeiçoou*, deixando de atribuir uma finalidade para as coisas do mundo para se concentrar na análise de como as coisas aconteciam.

Mas a noção galileana de causa eficiente não corresponde apenas a um Deus criador de átomos. Assim como ocorre no caso dos movimentos violentos na teoria aristotélica, a causalidade eficiente vinculada à concepção galileana de movimento também inclui a ação de forças externas. Tais forças (causas eficientes) explicam a alteração de um estado de movimento ou repouso:

[É] só à “força” – se já não é por “violência” – que se possa fazer passar o móvel de um *estado* a outro: qualquer movimento – ou, pelo menos, qualquer colocação em movimento –, tal como qualquer repouso – ou, pelo menos, qualquer paragem do movimento, qualquer aceleração como qualquer afrouxamento – implicando uma causa, ou, mais precisamente, uma *força*, esta tem, necessariamente, de ser concebida como exterior e estranha ao móvel que, ele próprio, é *inerte* (KOYRÉ, 1986, p. 203, grifos do autor).

De acordo com Koyré, a *inércia* “significa, para a física clássica, indiferença aos estados de movimento e de repouso, persistência dos ditos estados, resistência oposta a qualquer mudança de um estado para outro” (*ibid.*, p. 203, nota 355). Em outras palavras, o móvel é *inerte* (mantém o seu estado de movimento ou de repouso, que por sua vez não são absolutos, mas relativos a um determinado referencial, tal como um observador externo), e a alteração do estado no qual se encontra depende de uma *força externa*, ou seja, de uma *causa eficiente*. Ou seja, *a inércia implica ausência de mudança e, portanto, de força ou causa eficiente*. Galileu não modificou somente a definição de movimento adotada pela física antiga e medieval, mas também o efeito oriundo do agente causal, pois o cientista mudou

“o princípio basilar da dinâmica aristotélica, segundo o qual o movimento era um *efeito* de um agente causal. Com a transformação do movimento em *estado*, um novo efeito dinâmico deveria ser atribuído ao agente causal (ou seja, à força, em geral, ou à gravidade, nos movimentos naturais). Galileu supôs, acertadamente, que esse efeito devia ser a aceleração” (POLITO, 2015, p. 15, grifos do autor).

Ao conceber a aceleração como efeito do agente causal, Galileu afirma que este aumenta ou diminui a velocidade de um corpo em movimento. Trata-se, em suma, de considerar a força ou a gravidade como fatores de alteração do estado de movimento, ao invés de considerá-las como causas do próprio movimento. Afinal, para a física clássica, o movimento não é mais definido como uma mudança absoluta, independentemente de um observador, mas sim como um estado dependente de um referencial. Essa mudança de perspectiva não fez com que o movimento e o repouso passassem a ser considerados ilusórios, mas conferiu-lhes o *status* de “aparências”, que “são modos particulares de existência intrinsecamente dependentes da existência de observadores e, portanto, também apresentam um caráter de realidade” (*ibid.*, p. 4, nota 2).

CONCLUSÃO

Por meio do estudo histórico das concepções concernentes ao movimento, a partir da obra de Aristóteles, considerando-se também as contribuições dos precursores antigos e medievais de Galileu, além de Copérnico e Giordano Bruno, tornou-se possível empreender uma análise de como ocorreu o desenvolvimento da noção de inércia na física clássica. O princípio de inércia foi o fruto de um longo processo de maturação do pensamento científico, e consistiu em um dos principais símbolos da ruptura da mecânica moderna com a ciência antiga e medieval, sendo estas baseadas nas visões aristotélicas acerca da realidade física. A ideia de movimento inercial fundamentou-se em uma nova concepção do movimento, não mais entendido como uma mudança (no sentido aristotélico de realizações de potências), e algo de caráter absoluto, mas sim como um estado dependente de um referencial, assim como o repouso. O progresso científico que legou à física uma definição mais exata do movimento, apoiado no princípio de inércia, é sintetizado de forma exemplar por Koyré:

O princípio de inércia não saiu já feito, como Atena da cabeça de Zeus, do pensamento de Descartes ou de Galileu. A formação da nova concepção de movimento – implicando uma nova concepção da realidade física –, de que o princípio de inércia é ao mesmo tempo a expressão e o suporte, foi precisada por um longo e penoso trabalho do espírito. A revolução galilaica e cartesiana – que nem por isso deixa de ser uma revolução – foi longamente preparada (KOYRÉ, 1986, p. 203).

As palavras de Koyré vêm ao encontro da conclusão a qual se chegou após a realização do presente trabalho, ou seja, de que a caracterização do movimento como tendo, em certas situações, uma natureza inercial resultou de séculos de reflexões filosóficas e científicas. Concluiu-se também que o desenvolvimento da noção de inércia não chegou ao seu termo com os trabalhos de Galileu, mas que estes representaram apenas uma etapa – importantíssima, por sinal – para o aperfeiçoamento desse conceito científico. Apesar de a obra galileana não conter um enunciado completo, ou suficientemente geral, da inércia, pode-se concluir que existem motivos razoáveis para considerar Galileu como o grande precursor desse princípio, dado que o seu empenho em salvaguardar o copernicanismo das críticas dos aristotélicos possibilitou reflexões que conduziram ao princípio da relatividade (e a consequente definição do movimento como ‘estado’) e da conservação do movimento, sendo este

bastante próximo da Primeira Lei de Newton. Tal distinção está de acordo com o posicionamento do cientista inglês, que conferiu a Galileu a paternidade do princípio de inércia.

A importância capital de Galileu para o estabelecimento do princípio de inércia não está expressa apenas pelas palavras newtonianas, pois também encontra respaldo em vários trabalhos de seus comentadores. Alguns, como Feyerabend, propuseram que Galileu teria intuído um princípio de inércia circular, tese que ainda é amplamente debatida – e muitas vezes criticada. Estudiosos como Vasconcelos defendem que Galileu chegou a uma lei de manutenção do grau de velocidade, conservação que se daria sobre uma superfície retilínea, e que poderia ser considerada como o “princípio de inércia de Galileu”. Considerando-se que o único argumento que poderia dar suporte à interpretação da inércia circular (*bizarria*) é considerado por Galileu como sendo apenas uma aproximação ou simplificação (considerando pequenas superfícies à Terra como planas e assim sucessivamente), torna-se mais plausível pensar que o cientista tinha em mente a conservação de um movimento retilíneo, como demonstram algumas passagens do *Diálogo* e do *Discorsi*. Entretanto, essa hipótese não está isenta de controvérsias, já que alguns comentadores, como vimos, apontam que Galileu não privilegiou nenhuma espécie de movimento, seja circular ou retilíneo. Tal observação ampara-se no fato de que Galileu defendeu a conservação tanto do movimento circular terrestre quanto do deslocamento retilíneo sobre um plano inclinado ascendente. Dado que o enunciado clássico da lei de inércia estabelece que o movimento a se conservar ocorre em uma superfície retilínea, fortalecer-se-ia a tese de que Galileu não intuiu claramente o movimento inercial.

A despeito das análises divergentes a respeito da questão sobre se Galileu teria ou não intuído o movimento inercial, é mais razoável assumir a posição mais bem subsidiada historicamente, a saber, que o cientista não foi o responsável pela formulação completa do princípio, mas que suas contribuições foram essenciais para que seus sucessores, como Descartes e Newton, pudessem ter uma concepção mais clara a respeito do tema e, com isso, tivessem uma noção mais exata acerca da inércia.

Por fim, cabem algumas considerações acerca da relação entre a inércia e a causalidade, debate que consistiu no fechamento do presente texto. O exame da questão

permitiu concluir que Galileu não excluiu a causalidade de suas explicações dinâmicas, mas reinterpretou o papel exercido pelos agentes causais no que concerne ao movimento. Para a física clássica, o movimento deixou de ser considerado efeito de uma causa final, e suas alterações passaram a ser identificadas por meio da mudança no grau de velocidade (aceleração). Nesse caso, como bem observou Koyré, a ação de uma causa eficiente é necessária, sendo que Galileu antecipou os estudos newtonianos sobre a força, sem ter, evidentemente, por todas as limitações inerentes ao seu período, chegado a termo. A reflexão em torno da causalidade e, sobretudo, em torno do problema do movimento, particularmente do movimento relativo, e o princípio de relatividade clássico, demonstra o amplo alcance da revolução galileana, que modificou não apenas os pressupostos filosóficos, mas sobretudo, o desenvolvimento da nascente física-matemática clássica que terá seu auge com Isaac Newton.

REFERÊNCIAS

- ABBAGNANO, Nicola. **Dicionário de Filosofia**. 5ª ed. Tradução de Ivone Castilho Benedetti. São Paulo: Martins Fontes, 2007.
- ALLAN, D. J. **A filosofia de Aristóteles**. Tradução de Rui Gonçalo Amado. Lisboa, Portugal: Editorial Presença, 1983.
- ARISTÓTELES. **Órganon: Categorias**. Tradução e notas de Edson Bini. Bauru, SP: Edipro, 2005 (Série Clássicos Edipro).
- _____. **Física I-II**. Tradução, introdução e comentários de Lucas Angioni. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2009.
- _____. **Metafísica**. 2ª ed. Tradução e notas de Edson Bini. São Paulo: Edipro, 2012 (Série Clássicos Edipro).
- _____. **Do céu**. Tradução e notas de Edson Bini. São Paulo: Edipro, 2014 (Série Clássicos Edipro).
- ARISTOTLE. **Physics**. Tradução de Robin Waterfield; introdução e notas de David Bostock. New York: Oxford University Press, 2008 (Oxford World's Classics).
- BERTOLDO, Leandro. **Teoria do Ímpeto**. Rio de Janeiro: Litteris Editora, 2004.
- BRAGA, Marco; GUERRA, Andreia; REIS, José Claudio. **Breve história da ciência moderna – volume 2: das máquinas do mundo ao universo-máquina**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.
- BRONOWSKI, J.; MAZLISH, Bruce. **A Tradição Intelectual do Ocidente**. Tradução de Joaquim João Braga Coelho Rosa. Lisboa, Portugal: Edições 70, 1983.
- BRUNO, Giordano. **Sobre o Infinito, o Universo e os Mundos**. 2ª ed. Tradução de Helda Barraco e Nestor Deola (Epístola Preambular). São Paulo: Abril Cultural, 1978 (Os pensadores).
- BUNGE, Mario. **Dicionário de filosofia**. 1ª ed. Tradução de Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2006 (Coleção Big Bang).
- BURTT, Edwin Arthur. **As Bases Metafísicas da Ciência Moderna**. 1ª ed., 1ª reimpressão. Tradução de José Viegas Filho e Orlando Araújo Henriques. Brasília: Editora UnB, 1991.
- CAMPOS, Alexandre; RICARDO, Élio Carlos. **A complexidade do movimento local na Física aristotélica** in Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 34, n. 3, 2012.
- CHALMERS, Alan F. **O que é ciência afinal?** 1ª ed. Tradução de Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1993.
- CHERMAN, Alexandre. **Sobre os ombros de gigantes: Uma História da Física**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2004.

CHERMAN, Alexandre; MENDONÇA, Bruno Rainho. **Por que as coisas caem? – Uma história da gravidade**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.

COPÉRNICO, Nicolau. **As Revoluções dos Orbes Celestes**. Tradução de A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Introdução e notas de Luís Albuquerque. Coimbra, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.

CROMBIE, A. C. **Augustine to Galileo**. Volume II. London, Great Britain: Mercury Books, 1961.

CUSTÓDIO, Márcio Augusto Damin. **Matemática e Filosofia da Natureza no Século XIV: Thomas Bradwardine**. Tese de Doutorado em Filosofia. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004.

DRAKE, Stillman. **Galileo Studies**. Ann Arbor, United States of America: The University of Michigan Press, 1970.

_____. **Galileu**. 2ª ed. Tradução de Maria Manuela Pecegueiro. Lisboa, Portugal: Publicações Dom Quixote, 1981 (Coleção Mestres do Passado, Vol. 3).

ÉVORA, F. R. R. **A revolução copernicano-galileana. Vol. I – Astronomia e cosmologia pré-galileana**. 2ª ed. Campinas: UNICAMP, 1993.

_____. **A revolução copernicano-galileana. Vol. II – A revolução galileana**. 2ª ed. Campinas: UNICAMP, 1994.

_____. **A Origem do Conceito do *Impetus*** in Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Campinas, Série 3, v. 5, n. 1-2, p. 281-305, 1995a.

_____. **Philoponos e Avempace: a origem do argumento galileano sobre o vazio** in ÉVORA, F. R. R. (Ed.) Espaço e Tempo. Campinas: UNICAMP, p. 69-89, 1995b.

_____. **Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas** in Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Campinas, Série 3, v. 15, n. 1, p. 127-170, 2005.

FARA, Patrícia. **Uma breve história da ciência**. 1ª ed. Tradução de Bresciani Edição de Textos e Digitação Ltda. (Karin Hueck). São Paulo: Editora Fundamento Educacional Ltda., 2014.

FEYERABEND, Paul. **Contra o método**. Tradução de Octanny S. da Mota e Leonidas Hegenberg. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977 (Série Metodologia das Ciências Sociais e Teoria da Ciência).

GALILEI, Galileu. **Dois Novas Ciências**. Tradução e notas de Letizio Mariconda e Pablo Rubén Mariconda. São Paulo: Nova Stella Editorial/Ched Editorial, 1985.

_____. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. Tradução, introdução e notas de Pablo Rubén Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial, 2001.

_____. **Carta de Galileu Galilei a Francesco Ingoli**. Tradução de Pablo Rubén Mariconda. In *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 477-516, 2005.

_____. **As mecânicas**. Tradução de Pablo Rubén Mariconda e Julio Celso Ribeiro de Vasconcelos; notas de Pablo Rubén Mariconda. *In Scientiae Studia*, São Paulo, v. 6, n. 4, p. 607-638, 2008.

_____. **Sidereus Nuncius – O Mensageiro das Estrelas**. 3ª ed. Tradução, estudo e notas de Henrique Leitão. Porto, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

GEYMONAT, Ludovico. **Galileu Galilei**. Tradução de Eliana Aguiar. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

GILSON, Étienne. **A filosofia na Idade Média**. 2ª ed. Tradução de Eduardo Brandão. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

GUIMARAENS NETO, Afonso Henriques de. **Copérnico**. 2ª ed. São Paulo: Editora Três: Brasil 21, 2004 (Biblioteca de história: grandes personagens de todos os tempos, nº 8).

HÖFFE, Otfried. **Aristóteles**. Tradução de Roberto Hofmeister Pich. Porto Alegre, RS: Artmed, 2008.

HOOPER, Wallace. **Inertial problems in Galileo's preinertial framework**, in Machamer, Peter (Org.) **The Cambridge Companion to Galileo**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 146-174, 1998 (Cambridge Companions to Philosophy).

KOYRÉ, Alexandre. **Estudos Galilaicos**. 1ª ed. Tradução de Nuno Ferreira da Fonseca. Lisboa, Portugal: Publicações Dom Quixote, 1986 (Coleção Opus – Biblioteca de Filosofia, nº 2).

_____. **Do Mundo Fechado ao Universo Infinito**. 4ª ed. Tradução de Donaldson M. Garschagen. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006 (Coleção Campo Teórico).

_____. **Estudos de História do Pensamento Científico**. 3ª ed. Tradução de Márcio Ramalho. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2011a (Coleção Campo Teórico).

_____. **Estudos de História do Pensamento Filosófico**. 2ª ed. Tradução de Maria de Lourdes Menezes. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2011b (Coleção Campo Teórico).

LALANDE, André. **Vocabulário técnico e crítico da filosofia**. Tradução de Fátima Sá Correia, Maria Emília V. Aguiar, José Eduardo Torres e Maria Gorete de Souza. São Paulo: Martins Fontes, 1993.

LIBERA, Alain de. **A Filosofia Medieval**. Tradução de Lucy Magalhães. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1990 (Coleção Cultura Contemporânea, nº 15).

LOPARIC, Zeljko. **O Ficcionalismo de Osiander** in *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Campinas, Série 3, v. 18, n. 1, p. 227-251, 2008.

LOPES, Ideusa Celestino. **Giordano Bruno: Crítica ao geocentrismo e defesa do universo infinito** in *SABERES*, Natal – RN, v. 3, número especial, p. 47-56, dez. 2010.

MACLACHLAN, James. **Galileu Galilei: o primeiro físico**. Tradução de Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2008 (Coleção Retratos da Ciência).

MARICONDA, Pablo R; VASCONCELOS, Júlio. **Galileu – e a nova Física**. 1ª ed. São Paulo: Odysseus Editora, 2006 (Imortais da Ciência).

MARTINS, Roberto de Andrade. **Galileu e o princípio da relatividade** in *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, n. 9, p. 69-86, 1986.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Kepler – A descoberta das Leis do Movimento Planetário**. 2ª ed. São Paulo: Odysseus Editora, 2007 (Imortais da Ciência).

PEDUZZI, Luiz O. Q. **Força e movimento: de Thales a Galileu**. Florianópolis: UFSC, 2015 (Evolução dos Conceitos da Física).

PELLEGRIN, Pierre. **Vocabulário de Aristóteles**. 1ª ed. Tradução de Claudia Berliner. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2010 (Coleção vocabulário dos filósofos).

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

POLITO, Antony M. M. **Galileu, Descartes e uma Breve História do Princípio de Inércia** in *Physicae Organum*, v. 1, n. 1, 2015.

PORTO, C.M. **A física de Aristóteles: uma construção ingênua?** in *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 4, 2009.

REALE, Giovanni; ANTISERI, Dario. **História da filosofia: Do Humanismo a Kant**, Volume 2. 4ª ed. São Paulo: Paulus, 1990 (Coleção filosofia).

RÖD, Wolfgang. **O caminho da filosofia**. Vol. I. 1ª ed. Tradução de Ivo Martinazzo. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2004.

RONAN, Colin A. **História Ilustrada da Ciência**. Vol. II – Oriente, Roma e Idade Média. Tradução de Jorge Enéas Fortes. São Paulo: Círculo do Livro, 1987.

ROVIGHI, Sofia Vanni. **História da filosofia moderna – da revolução científica a Hegel**. 2ª ed. Tradução de Marcos Bagno e Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Edições Loyola, 2000.

STEENBERGHEN, F. Van. **História da Filosofia (Período Cristão)**. Tradução de J. M. da Cruz Pontes. Lisboa, Portugal: Gradiva, 1984 (Coleção Trajectos).

VARGAS, Milton. **Galileu e a instituição do mundo moderno**, in Carneiro, Fernando L. (Coord.) **350 Anos dos "Discorsi intorno a due nuove scienze" de Galileo Galilei**. 1ª ed. Rio de Janeiro; COPPE, Editora Marco Zero, p. 139-146, 1989.

VASCONCELOS, Júlio C. R. **Galileu contra a inércia circular**, in *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 395-414, 2005a.

_____. **Sobre a “Bizarria” do Diálogo de Galileo Galilei: uma Crítica à Interpretação da “Inércia Circular”**, in *Revista Ideação*, n. 15, Especial, p. 207-230, 2005b.

_____. **Anotações para uma leitura contemporânea de *As mecânicas de Galileo Galilei***, in *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 6, n. 4, p. 551-563, 2008.

_____. **“Inércia circular” como falácia existencial**, *in* Revista Ideação, n. 30, p. 247-277, 2014.