

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA

EVALDO PEREIRA DE REZENDE

Nicole Oresme: precursor da ciência moderna?

Brasília

2026

EVALDO PEREIRA DE REZENDE

Nicole Oresme: precursor da ciência moderna?

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Filosofia da Universidade de Brasília, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Filosofia.

Linha de Pesquisa: Epistemologia, Lógica e Metafísica.

Orientador: Prof. Dr. Samuel José Simon Rodrigues.

Brasília

2026

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

PR467n Pereira de Rezende, Evaldo
 Nicole Oresme: precursor da ciência moderna? / Evaldo
Pereira de Rezende; orientador Samuel José Simon
Rodrigues. -- Brasília, 2026.
 285 p.

 Tese (Doutorado em Filosofia) Universidade de Brasília,
2026.

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

Nome: REZENDE, Evaldo Pereira de

Título: Nicole Oresme: precursor da ciência moderna?

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Filosofia da Universidade de Brasília, como requisito para a obtenção do título de Doutor 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.^a Dra. Fátima Regina Rodrigues Évora
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Examinadora Externa

Prof. Dr. Anselmo Tadeu Ferreira
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Examinador Externo

Prof. Dr. Guy Hamelin
Programa de Pós-Graduação em Filosofia – PPG-FIL/UnB
Examinador Interno

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Ana Pereira de Rezende (*in memoriam*) e Erly Cardozo de Rezende, 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.

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 investigar a hipótese segundo a qual o filósofo francês Nicole Oresme foi um precursor da ciência moderna, na medida em que teria esboçado ideias que poderiam ser consideradas predecessoras de concepções científicas modernas, como a relatividade do movimento, o conceito de movimento retilíneo uniformemente variado e o heliocentrismo. Assim, far-se-á uma análise histórica do problema, traçando uma linha do tempo entre Aristóteles e Oresme, abordando tanto os autores antigos que sucederam ao Estagirita quanto os medievais, de modo a mostrar a evolução histórica da física do movimento durante o período estudado. Após o estudo da obra de Oresme, serão apresentados argumentos de comentadores do filósofo, favoráveis e contrários à tese da influência de Oresme para o desenvolvimento da física clássica. Por fim, buscar-se-á responder à questão proposta, ou seja, a de se Nicole Oresme foi ou não um precursor da ciência moderna.

Palavras-chave: Oresme, Aristóteles, Ciência, Movimento.

ABSTRACT

The present work aims to investigate the hypothesis in which the French philosopher Nicole Oresme was a forerunner of the modern science, insofar as he would have outlined ideas that could be considered predecessors of modern scientific conceptions, like the relativity of movement, the concept of uniformly varied rectilinear movement and the heliocentrism. Thus, a historical analysis of the problem will be made, drawing a timeline between Aristotle and Oresme, addressing both the ancient authors which followed the Stagirite and the medieval ones, to show the historical evolution of the physics of movement during the study period. After the study of Oresme's work, arguments of philosopher's commentators will be presented, favorable and contrary to the thesis of Oresme's influence for the development of classical physics. Lastly, we will be sought answer to the proposed question, that is, whether Nicole Oresme or not was one precursor of modern science.

Keywords: Oresme, Aristotle, Science, Movement.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
 CAPÍTULO 1. A FÍSICA DE ARISTÓTELES	16
1.1 Aspectos gerais do conceito aristotélico de movimento	16
1.2 A concepção aristotélica de vazio.....	18
1.3 Movimento circular.....	22
1.4 O corpo primário: éter.....	23
1.5 Movimento natural e não-natural, simples e composto	25
1.6 Movimento retilíneo.....	27
1.7 Movimento dos projéteis.....	30
1.8 A impossibilidade do movimento no vazio	33
1.9 Influência platônica na definição aristotélica do Cosmos.....	35
1.10 Modelos astronômicos	40
1.11 O movimento do céu.....	43
1.12 A Terra estacionária	45
1.13 Queda dos graves	48
1.14 A natureza do tempo	54
1.15 Salvando os fenômenos.....	56
 CAPÍTULO 2. A HERANÇA ARISTOTÉLICA NA CONSTRUÇÃO DAS CIÊNCIAS ANTIGA E MEDIEVAL.....	59
2.1 Os primeiros peripatéticos.....	59
2.2 A Escola de Alexandria.....	62
2.3 Aristarco de Samos	63
2.4 Epíclides e deferentes	69
2.5 “Força impressa” e aceleração.....	71
2.6 Salvando as aparências: Ptolomeu	74

2.7 Críticas de Filopono à argumentação aristotélica sobre o vazio	80
2.8 A queda dos corpos, segundo Filopono	86
2.9 Movimento natural e antinatural no vazio	88
2.10 Críticas à argumentação aristotélica sobre o movimento antinatural	91
2.11 Filosofia islâmica: Avicena, Avempace e Averróis.....	96
2.11.1 Avicena	96
2.11.2 Avempace.....	99
2.11.3 Averróis.....	100
2.12 Roberto Grosseteste	102
2.13 Crítica de Tomás de Aquino à física aristotélica	109

CAPÍTULO 3. O DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO NO OCIDENTE E AS QUESTÕES DA FILOSOFIA NO SÉCULO XIV 119

3.1 O século XIV	119
3.2 Guilherme de Ockham	120
3.3 Os calculadores do <i>Merton College</i>	123
3.3.1 Thomas Bradwardine	126
3.3.1.1 <i>Tractatus de Proportionibus</i>	127
3.3.2 William Heytesbury	145
3.4 Jean Buridan	154

CAPÍTULO 4. O PENSAMENTO E A OBRA CIENTÍFICO-FILOSÓFICA DE NICOLE ORESME..... 166

4.1 Breve biografia de Nicole Oresme	166
4.2 Oresme e a astrologia	168
4.3 A teoria da qualidade motriz de Oresme.....	178
4.4 Movimento relativo e composto	185
4.5 Hipótese do movimento diário da Terra	192
4.6 A prova geométrica do teorema da velocidade média	199
4.7 Comparação entre qualidades uniformes e disformes	205

4.8 A incomensurabilidade dos movimentos celestes	209
CAPÍTULO 5. ESTUDOS CONTEMPORÂNEOS SOBRE ORESME	215
5.1 A hipótese de Pierre Duhem.....	215
5.2 Edward Grant.....	220
5.3 David Lindberg.....	225
5.4 Marshall Clagett	234
5.5 Walter Roy Laird	242
5.6 Thomas Kuhn	246
CAPÍTULO 6. ORESME: PRECURSOR DA CIÊNCIA MODERNA?	251
6.1 A relatividade do movimento	251
6.2 O movimento composto	254
6.3 O argumento do navio.....	257
6.4 O teorema galileano da velocidade média	262
6.5 Aceleração dos graves.....	266
6.6 Considerações sobre a astrologia.....	270
CONCLUSÃO.....	272
REFERÊNCIAS.....	279

INTRODUÇÃO

O presente estudo objetiva investigar a hipótese de o pensador medieval Nicole Oresme ter sido um precursor da ciência moderna, no sentido de ter antecipado algumas teses de Copérnico e Galileu no tocante à Astronomia e à Física. Oresme antecipou (embora de forma muito incipiente) as grandes questões que estiveram no centro da Revolução Científica ocorrida nos séculos seguintes como, por exemplo, a tese do movimento terrestre. Tal proposta, além de inovadora para a época (não obstante as ideias de pensadores antigos como Aristarco de Samos, que também formulou essa hipótese), rompendo um dos principais pilares que sustentavam a cosmologia aristotélico-ptolomaica (a Terra estacionária no centro do universo), também contradizia a fé cristã que, em consonância com interpretações bíblicas, entendia que a Terra, na qual vivia o ser criado por Deus a sua imagem e semelhança, necessariamente ocuparia um lugar privilegiado no Cosmos. Em um ambiente intelectual desse tipo, afirmações ousadas como as de Oresme dificilmente prosperariam, mas indubitavelmente representam o início de uma ruptura com a tradição aristotélica, aprofundada nos séculos seguintes.

Contudo, séculos antes de Oresme discordar da física aristotélica, os alicerces desta foram de certa forma estremecidos por Filopono de Alexandria, cujas críticas à argumentação de Aristóteles acerca do vazio, da queda dos corpos e do movimento dos projéteis representaram um importante contraponto à visão de mundo do Estagirita. Fátima Évora diz que, no comentário de Filopono a respeito da *Física* de Aristóteles, ele “parece ter sido o primeiro a se opor à dinâmica aristotélica, de uma forma sistemática e apresentando uma dinâmica alternativa” (ÉVORA, 1995b, p. 77).

Em relação à ruptura com o aristotelismo, cumpre ressaltar que, no século XIV, época em que Oresme viveu, já se desenhavam importantes críticas à filosofia do Estagirita. Dentre essas críticas, pode-se citar a teoria do *impetus*, de Jean Buridan, segundo a qual um ímpeto era impresso em um projétil em movimento, mantendo assim a sua trajetória antinatural. Tal ideia se opunha a concepção aristotélica de que o ar era o responsável pela continuidade do movimento violento. Segundo Alain de Libera, a física buridaniana (na qual se insere a física de Oresme) rompeu com a física aristotélica

ao acabar com a divisão entre o mundo supralunar e o mundo sublunar, dado que, para Buridan, corpos celestes ou terrestres estavam sujeitos à mesma lei da força impressa¹. A física de Oresme também faz parte desse movimento, inclusive por sua contribuição à física do *impetus*, por meio de sua teoria da qualidade motriz (tópico 4.3).

Em Filosofia da Ciência, é essencial entender como os conceitos de uma determinada área de investigação se modificaram ao longo da História, visão sem a qual não é possível entender o desenvolvimento posterior de determinado termo, como o conceito de movimento – aqui entendido como deslocamento de um lugar a outro –, analisado neste trabalho. Assim, faz-se necessário retroceder até a Antiguidade Clássica, aos escritos de Aristóteles, com destaque para o *De caelo* e a *Física*, sendo que justamente a obra em que Oresme propõe a possibilidade da rotação terrestre, o *Le Livre du ciel et du monde*, consiste em uma tradução comentada do *De caelo*. Por essa razão, o Capítulo 1 foi integralmente dedicado ao estudo da física de Aristóteles, abordando temas como, por exemplo, os movimentos naturais e não-naturais, simples e compostos, retilíneos e circulares, além da discussão acerca do vazio. Ademais, o Capítulo 1 ainda trata da concepção aristotélica do movimento do céu e do repouso da Terra, bem como a questão da queda dos graves e a natureza do tempo. Em suma, esse primeiro capítulo busca oferecer uma compreensão geral da física aristotélica, sem evidentemente esgotar todos os aspectos relativos ao assunto. Após um estudo pormenorizado da física e cosmologia aristotélicas, analisar-se-á todo o período posterior, nomeadamente a ciência do movimento, de modo a traçar um panorama que permita compreender, de forma abrangente, a filosofia natural do século XIV.

No Capítulo 2, dedicado à herança aristotélica na construção da ciência antiga e medieval, estudar-se-á os autores pós-aristotélicos que, de alguma maneira, contribuíram para o desenvolvimento científico-filosófico no âmbito da física. Assim, é

¹ Diz Libera (1998, p. 441): “Duas físicas novas especificamente latinas desenvolveram-se portanto no século XIV contra a antiga física dos árabes: a física ‘matemática’ das configurações ou Cálculo e a física buridaniana – às quais pode-se acrescentar a física de Nicolau Oresme (c. 1325-1382), que, ao mesmo tempo em que participa do universo do Cálculo (por causa de seu método de “configuração das qualidades e dos movimentos”), mantém também uma orientação empírica e um enraizamento no aristotelismo. A primeira fez explodir os quadros disciplinares tradicionais ao dar um início de matematização da física. A segunda arruinou a imagem do mundo fundada na separação radical do mundo sublunar e do mundo supralunar (os Céus animados pelas Inteligências motoras), ao submeter todos os corpos, fossem eles terrestres ou celestes (planetas) à mesma lei da força imprimida. A primeira invadiu a Itália suscitando a ira dos humanistas. A segunda conquistou toda a Europa central, de Praga até a Cracóvia – também a Itália. A impossível síntese, esboçada em Oresme, desembocou em Galileu”.

imprescindível falar de Ptolomeu, que ao buscar “salvar as aparências” construiu um sistema de mundo (para usar a expressão de Galileu) que moldou o entendimento antigo e medieval acerca do Cosmos, baseado na crença de que a Terra ocupava o centro do Universo, enquanto o Sol e os planetas giravam ao redor dela. Ademais, também não se pode deixar de falar de Filopono e suas importantes ponderações a respeito da física aristotélica, e para tanto serão dedicados quatro tópicos ao assunto, abordando as críticas de Filopono à argumentação aristotélica sobre o vazio, a queda dos corpos, a questão acerca do movimento no vazio e, por fim, as suas críticas à argumentação do Estagirita sobre o movimento antinatural. Além disso, não se pode falar nas concepções medievais a respeito do movimento sem mencionar a filosofia islâmica, com as contribuições de Avicena, Avempace e Averróis. Para encerrar o estudo dos pensadores ocidentais posteriores a Aristóteles até o século XIII, estudar-se-á Roberto Grosseteste e, evidentemente, um dos maiores comentadores latinos de Aristóteles, Tomás de Aquino.

Para o presente estudo, o Capítulo 3 é de suma importância. Nessa parte, há uma breve introdução acerca do século XIV, seguida pela apresentação da filosofia de Guilherme de Ockham, mencionando o uso que o filósofo faz de sua famosa “navalha” na análise a respeito do movimento. Depois, e ainda mais importante, é o estudo sobre os chamados “calculadores” do Merton College, que empregaram a matemática no estudo da mecânica, destacando-se dois nomes: Thomas Bradwardine e William Heytesbury. O trabalho matemático de Bradwardine consistiu na exposição de quatro teorias sobre as proporções dos movimentos, seguida por sua crítica a cada uma delas e pela apresentação de uma quinta teoria, elaborada por ele, que pretende explicar a velocidade quantitativamente. Por sua vez, Heytesbury propôs uma definição para um movimento uniforme, não uniforme e acelerado, sendo também o proponente do *teorema da velocidade média*, que foi crucial nos estudos científicos realizados por Oresme. Por fim, o capítulo contém um estudo acerca de um dos contemporâneos de Oresme, Jean Buridan, conhecido por sua teoria do *impetus*, que buscava explicar a continuidade do movimento do projétil mesmo depois da perda do contato com o agente motor.

O Capítulo 4 consiste em uma exposição sistemática do pensamento e da obra científico-filosófica de Nicole Oresme. Essa parte inicia-se com uma breve biografia de

Oresme, seguida por suas considerações acerca da astrologia, da qual ele foi um oponente declarado, em uma época em que tal prática estava muito em voga, atraindo até mesmo o rei e patrono de Oresme, Carlos V. A consideração do rei pelas previsões astrológicas preocupava muito Oresme, que por essa razão buscou refutar intelectualmente a astrologia, algo que, segundo Edward Grant, era uma tentativa de atrair Carlos para longe dessa prática. A questão da astrologia é apresentada neste trabalho porque constitui uma parte importante da biografia de Oresme, para a qual ele direcionou os seus estudos e escreveu um tratado, o *Livre de Divinations*. Ademais, a oposição de Oresme à astrologia era uma novidade naquela época, de modo que este é um dos aspectos que aproximam o pensador francês do pensamento moderno, no qual a astrologia começou a ser destituída do papel que ocupava até então.

Na sequência, iniciar-se-á de fato o estudo do trabalho científico de Oresme relacionado à física. Em primeiro lugar, será abordada a teoria da qualidade motriz de Oresme, através da qual ele também buscou explicar a trajetória antinatural do projétil, contrariamente a Aristóteles, que acreditava que o ar era o responsável por tal movimento. No tópico seguinte, dedicado ao movimento relativo e composto, começa o estudo propriamente dito das contribuições de Oresme que o levaram a ser considerado um precursor da ciência moderna. O tópico 4.5 é, talvez, o mais importante do capítulo, pois consiste na análise textual dos trechos do Capítulo XXV do Livro II do *Le Livre du ciel et du monde*, onde Oresme desenvolve o argumento acerca da possibilidade da rotação diária terrestre, aspecto central da tese de que o autor pode ter sido precursor de Copérnico e Galileu. A seguir, mais um tópico extremamente importante, que trata da prova geométrica do teorema da velocidade média, a grande contribuição de Oresme aos trabalhos do Merton College e, nomeadamente, à obra de Heytesbury. Depois, no tópico 4.7, há uma discussão acerca das qualidades uniformes e disformes, que pode ter, quem sabe, inspirado Galileu a elaborar um dos corolários de seu *Discorsi*. Encerrando o capítulo, abordar-se-á a questão da incomensurabilidade dos movimentos celestes, assunto que consta em três dos tratados escritos por Oresme.

No Capítulo 5, dedicado aos estudos contemporâneos sobre a obra de Oresme, são analisadas as contribuições de seis estudiosos dos séculos XX e XXI, sendo que cada uma delas aborda um ponto específico da obra do autor francês. Inicialmente, é apresentada a hipótese clássica de Pierre Duhem, de que Oresme foi precursor de

Copérnico e Galileu, posicionamento que vai ao encontro do tema tratado na presente tese. Na sequência, abordar-se-á o trabalho de um conhecido tradutor e comentador de Oresme, Edward Grant, seguida pela exposição das contribuições do historiador da ciência David Lindberg e do tradutor do *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum* (onde Oresme apresenta sua prova do teorema da velocidade média), Marshall Clagett. Por fim, será analisado um estudo mais atual da obra de Oresme, elaborado por Walter Roy Laird, e a clássica contribuição de Thomas Kuhn ao debate, efetuada na sua famosa obra *A Revolução Copernicana*.

No último capítulo deste trabalho, procurar-se-á responder à pergunta que norteia esta pesquisa, ou seja, sobre se Oresme teria, de certa forma, antecipado os avanços da Revolução Científica. Para isso, serão apresentadas passagens das obras *As Revoluções dos Orbes Celestes* (Copérnico), do *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano* e do *Duas Novas Ciências (Discorsi)*, de Galileu. Os tópicos desse capítulo remetem aos temas trabalhados no Capítulo 4, mas apresentando a versão moderna de tais assuntos, tais como a relatividade do movimento, o movimento composto e o teorema galileano da velocidade média. No final, será demonstrado como a questão galileana da aceleração dos graves se relaciona com a comparação, feita por Oresme, entre qualidades uniformes e disformes (tópico 4.7), encerrando com um pequeno comentário acerca da astrologia, demonstrando que o combate de Oresme a tal prática também pode ser considerado um indicativo de que ele antecipou, de certa maneira, o pensamento moderno.

Por fim, na Conclusão apresentar-se-á novamente a resposta da pergunta sobre se Oresme foi ou não precursor de Copérnico e Galileu, apontando os elementos principais que dão sustentação à tese apresentada. Ademais, serão expostas as justificativas para essa pesquisa, e em que ela se constitui em uma novidade para o pensamento histórico-filosófico, ou seja, como ela contribui para o conhecimento acerca da interseção entre a filosofia medieval e a ciência moderna.

CAPÍTULO 1. A FÍSICA DE ARISTÓTELES

1.1 Aspectos gerais do conceito aristotélico de movimento

Para se compreender o desenvolvimento da ciência na Idade Média é importante conhecer os antecedentes históricos das pesquisas realizadas pelos filósofos da natureza medievais. Indubitavelmente, a maior referência da Antiguidade no período medieval, no que tange ao conhecimento científico, consiste em Aristóteles. Conforme aponta Crombie (1961, p. 47), a dinâmica aristotélica envolve vários enunciados que foram criticados na Idade Média tardia. Dentre as contribuições de Aristóteles para a ciência antiga, pode-se citar a sua concepção de movimento local, que para ele trata-se da mudança na qual as potencialidades de um corpo móvel tornam-se reais, graças à ação de um agente motor². Analisando o ideário aristotélico, Alistair Crombie destaca que no movimento natural o agente é algo intrínseco, podendo ser a causa eficiente (como a alma nas coisas vivas) ou um princípio que gera um movimento espontâneo em determinado ambiente como, por exemplo, no movimento dos corpos em direção a seu lugar natural. Assim, as esferas celestes seriam dotadas de uma espécie de “alma” (que nos escritos posteriores foi denominada como uma “Inteligência”) que causaria o seu movimento.

Ademais, Aristóteles também discorre sobre aquilo que caracteriza como um movimento “violento”, que se trata de um deslocamento forçado e antinatural. Para o Estagirita, no movimento antinatural, um motor externo ao movente forçava-o a se deslocar de forma diversa daquela que lhe seria própria³. Segundo Crombie (1961, p. 47-48), seja o movimento resultado de uma atividade natural, seja oriundo do impulso de um agente externo, o princípio essencial é preservado: o de que tudo que se move deve ser movido por alguma coisa, de modo que quando a causa do movimento cessa o efeito também é interrompido. O movimento natural tem sempre uma finalidade, tal

² Nas palavras de Crombie, Aristóteles concebia o movimento local como “todo tipo de mudança, como um processo pelo qual as potencialidades de qualquer corpo em movimento eram feitas reais por um agente motor” (CROMBIE, 1961, p. 47). No original: “all kinds of change, as a process by which the potentialities of any body to movement were made actual by a motive agent”.

³ Conforme Crombie, “o agente era sempre um motor externo que acompanhava o movimento do corpo e impunha sua forma alheia de movimento a ele” (*ibid.*, p. 47). No original: “the agent was always an external mover which accompanied the moving body and imposed its alien form of movement on it”.

como uma pedra que, ao cair, objetiva alcançar a terra⁴ Por sua vez, o movimento antinatural é caracterizado como um deslocamento contrário à finalidade natural, que persiste apenas durante o contato do motor com o corpo em movimento⁵.

Aristóteles acreditava que a velocidade e a força motriz eram diretamente proporcionais, sendo a velocidade inversamente proporcional à resistência do meio⁶. Tratava-se de um entendimento bastante limitado, que não levava em consideração o espaço a ser percorrido e nem o tempo a ser despendido durante o deslocamento. Contudo, essa visão estava em consonância com o pensamento grego da época, para o qual só é possível pensar uma grandeza comparando-se quantidades de mesma natureza, tais como duas distâncias ou dois intervalos de tempo, de modo que a relação entre distância e tempo não poderia ser considerada como uma grandeza⁷. Aristóteles segue à risca essa concepção, pois sua definição de velocidade depende apenas da variação de uma grandeza, entendida como a capacidade de provocar movimento (força motriz) ou de resistir ao movimento (resistência). Em outras palavras, para o Estagirita, dever-se-ia analisar somente a capacidade de o movimento persistir em determinado meio, desconsiderando quaisquer outras variáveis, tais como a distância e o tempo. Segundo Crombie, apenas no século XIV a velocidade passou a ser compreendida como uma grandeza mensurável que expressa a relação entre espaço e tempo, sendo essa uma

⁴ Conforme Crombie, a terra é “a finalidade de uma pedra caindo naturalmente” (CROMBIE, 1961, p. 48). No original: “as the goal of a naturally falling stone”.

⁵ Crombie diz que o movimento antinatural é “a imposição de um movimento estranho à finalidade natural, e tal movimento continua apenas enquanto o agente externo permanece em contato com o corpo movido” (*ibid.*, p. 48). No original: “the imposition of a motion alien to the natural goal, and such motion continued only so long as the external agent remained in contact with the body moved”.

⁶ Segundo Crombie, para Aristóteles, “a velocidade de um corpo em movimento era diretamente proporcional à força motriz e inversamente proporcional à resistência do meio em que o movimento ocorre” (*ibid.*, p. 48). No original: “the velocity of a moving body was directly proportional to the motive power and inversely proportional to the resistance of the medium in which movement took place”.

⁷ Nas palavras de Crombie, “De acordo com a concepção grega, uma grandeza poderia resultar apenas de uma proporção ‘verdadeira’, ou seja, de uma relação entre quantidades ‘semelhantes’, por exemplo, entre duas distâncias ou dois espaços de tempo. Uma relação entre duas quantidades ‘diferentes’, tais como distância (s) e tempo (t), não seria, portanto, considerada como uma grandeza, de modo que os gregos, de fato, não deram uma definição métrica de velocidade como uma grandeza que representava a relação entre espaço e tempo” (*ibid.*, p. 48). No original: “According to the Greek conception, a magnitude could result only from a ‘true’ proportion, that is from a ratio between ‘like’ quantities, for example between two distances or two times. A ratio between two ‘unlike’ quantities such as distance (s) and time (t) would thus not have been considered as a magnitude, so that the Greeks did not in fact give a metric definition of velocity as a magnitude representing a ratio between space and time”.

importante contribuição dos matemáticos escolásticos ao desenvolvimento da ciência física (CROMBIE, 1961, p. 48).

1.2 A concepção aristotélica de vazio

Um dos aspectos centrais da filosofia natural de Aristóteles é a negação da existência do vazio, argumentação constante no Livro IV da *Física*. Inicialmente, o filósofo preocupa-se em conceituar o vazio, pontuando que aqueles que defendiam sua existência acreditavam que se tratava de um lugar ou recipiente, passível de ser preenchido⁸. Para tais pensadores, a existência do vazio era necessária para que mudanças como o movimento e o crescimento pudessem ocorrer, dada a impossibilidade de que algo “cheio” pudesse abranger alguma coisa⁹. Em outras palavras, um determinado corpo só poderia deslocar-se de um ponto a outro caso o local que venha a ocupar esteja “vazio”, ou seja, desprovido da existência de qualquer coisa, já que dois ou mais corpos não poderiam ocupar o mesmo espaço. Analogamente, um corpo só poderia crescer caso o espaço a ser ocupado também não estivesse preenchido por nada. Conforme explica o Estagirita, tal argumentação dos defensores do vazio é motivada pela crença de que tudo o que existe é corpo, de modo que se poderia definir o vazio como sendo uma extensão em que nenhum corpo pode ser percebido, ou que esteja “cheia de ar”, conforme se segue:

Entretanto, o que as pessoas entendem por “vazio” é uma extensão em que não exista corpo perceptível. Porque elas pensam que tudo o que existe é corpo, elas afirmam que qualquer coisa que contenha

⁸ Nas palavras de Aristóteles: “Pois aqueles que dizem que existe tal coisa como o vazio pensam nele como um tipo de lugar, um tipo de recipiente, que pode estar ou cheio ou vazio dependendo do fato de conter ou não a capacidade de receber um corpo” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 213a15-18). Na tradução consultada: “For those who say that there is such a thing as void think of it as a kind of place, a kind of vessel, which may be either full or empty depending on whether or not it contains the body it is capable of receiving”.

⁹ Diz Aristóteles: “Seus argumentos [dos defensores do “vazio”] são, primeiro, que sem o vazio é inconcebível que possa existir algo como a mudança de lugar (ou seja, o movimento e crescimento), já que é impossível para algo cheio ser receptivo a qualquer coisa. Se algo cheio pudesse receber alguma coisa, dois objetos estariam em um mesmo lugar, e então você poderia ter qualquer número de corpos coincidindo, já que seria impossível especificar um ponto em que essa coincidência cessaria” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 213b4-8). Na tradução consultada: “Their arguments are, first, that without void it is inconceivable that there could be such a thing as change of place (i.e. movement and increase), since it is impossible for a plenum to be receptive of anything. If a plenum could receive something, two objects would be in the same place, and then you could have any number of bodies coinciding, since it would be impossible to specify a point at which this coincidence would stop”.

absolutamente nada é um vazio – e por isso eles pensam que algo que esteja cheio de ar é um vazio¹⁰ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 213a27).

Aristóteles leva em consideração a definição acima em sua crítica à ideia de vazio. De acordo com ele, a extensão dos corpos é o único tipo de extensão existente¹¹, de modo que não poderia haver uma extensão na qual não houvesse corpos, entendida como um “vazio”. Todavia, mesmo adotando a visão de que o vazio não existe, o Estagirita reconhece que os defensores do vazio são mais bem-sucedidos no debate. Isso porque enquanto os críticos da crença no vazio dedicam-se a refutá-lo salientando que o ar oferece resistência¹², aparentemente sem se ater à questão principal¹³, seus defensores focam em dificuldades práticas, como a já mencionada impossibilidade de movimento e crescimento caso o vazio não exista, tese que, segundo Aristóteles, também foi defendida por Melisso. Para esse pré-socrático, o universo é estático, pois seu movimento estaria condicionado à existência do vazio¹⁴. Por outro lado, os pitagóricos

¹⁰ Na tradução consultada: “However, what people mean by ‘void’ is an extension in which there is no perceptible body. Because they think that all there is is body, they claim that anything which contains absolutely nothing is a void – and that is why they think that anything which is full of air is a void”.

¹¹ Diz o Estagirita: “O que precisa ser demonstrado não é que o ar é alguma coisa, mas que o único tipo de extensão que existe é a extensão dos corpos, e que essa não pode ser separada dos corpos ou existir sem eles na realidade” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 213a31). Na tradução consultada: “What needs demonstrating is not that air is something, but that the only kind of extension there is is the extension of bodies, and that this cannot be separated from bodies or exist without them in actuality”.

¹² Trata-se da seguinte passagem: “O que eles fazem é demonstrar que o ar é alguma coisa [...] e mostrar que o ar oferece resistência” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 213a25). Na tradução consultada: “What they do is demonstrate that air is something [...] and showing that the air offers resistance”.

¹³ Em seu *Comentário à Física de Aristóteles*, Tomás de Aquino destaca que os pensadores que negavam o vazio preocuparam-se em demonstrar que este não é ar, ao invés de replicar os argumentos da tese contrária. Eles acreditavam que ao negar que o vazio seja ar estavam refutando a hipótese da existência do primeiro. Nas palavras de Tomás, “alguns antigos filósofos, querendo mostrar que o vazio não existe, erraram ao não argumentar contra a alegação de quem o afirmava. Pois não mostravam que o vazio não existe, porém alegavam razões próprias para mostrar que [algo] cheio de ar não está vazio, como Anaxágoras e outros que argumentavam de maneira semelhante: para negar o vazio, queriam demonstrar que o ar é algo, e como vazio é aquilo no qual não há nada, segue-se que o cheio de ar não é vazio” (AQUINO, 2001, p. 147). Na tradução consultada: “algunos antiguos Filósofos, queriendo mostrar que el vacío no existe, erraron al no argüir contra el argumento de quienes lo afirmaban. Pues no mostraban que el vacío no existe, sino que aducían razones propias para mostrar que lo lleno de aire no está vacío, como Anaxágoras y otros que argumentaban de manera semejante: para negar el vacío querían demostrar que el aire es algo, y como vacío es aquello en lo cual no hay nada, se sigue que lo lleno de aire no es vacío”.

¹⁴ De acordo com Aristóteles, “Melisso também se baseia no mesmo argumento [da necessidade do vazio] para demonstrar que o universo não se move: ele diz que o vazio tem que existir para o movimento ocorrer, mas não existe tal coisa como o vazio” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 213b12-14). Na tradução consultada: “Melissus also relies on the same argument to demonstrate that the universe does not move: he says that there has to be void for movement to take place, but there is no such thing as void”.

afirmavam que o vazio era real, sendo responsável pela distinção entre coisas próximas, sucessivas¹⁵.

Tendo esclarecido os argumentos favoráveis e contrários à existência do vazio, Aristóteles encaminha-se para a refutação da ideia, concentrando-se no problema acerca da necessidade do vazio para a ocorrência de movimento ou mudança. Nas palavras do Estagirita:

O fato é que o movimento e a mudança apoiam tanto aqueles que dizem que o lugar é algo distinto dos corpos que vêm ocupá-lo, e aqueles que dizem que o vazio existe. As pessoas tomam o vazio como sendo a causa da mudança no sentido de ser aquilo no qual a mudança ocorre – que é o tipo de coisa que algumas pessoas dizem sobre o lugar. Em geral, não há necessidade de que o vazio seja a causa de toda mudança, porque é perfeitamente possível para o pleno alterar-se qualitativamente (que é também algo que Melisso desconsiderou). Tampouco precisamos do vazio para explicar a mudança de lugar também, uma vez que é possível para as coisas darem lugar para uma outra sem que exista qualquer extensão separada além dos corpos em movimento¹⁶ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 214a22-30).

Na passagem destacada, o filósofo afirma que algo “pleno” ou “cheio” (ou seja, que não poderia expandir-se mais) também está sujeito à mudança, mas de natureza qualitativa. Assim, não havendo crescimento, o corpo que muda não necessita preencher outro lugar que, caso não ocupado, consistiria no vazio, já que sua transformação se deu no tocante às suas qualidades. Ademais, uma mudança local (movimento) também não

¹⁵ Conforme Aristóteles: “Os pitagóricos também afirmam que existe algo como o vazio. De acordo com eles, o vazio entra no universo pelo sopro infinito [...]. O que o vazio faz, eles dizem, é diferenciar as coisas; eles pensam no vazio como sendo um tipo de separação e distinção quando uma coisa vem depois de outra. Isso ocorre primeiro entre os números, porque na visão deles [dos pitagóricos] é o vazio que distingue um número de outro” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 213b22-26). Na tradução consultada: “The Pythagoreans also claim that there is such a thing as void. According to them, it enters the world from the infinite breath [...]. What void does, they say, is differentiate things; they think of void as being a kind of separation and distinction when one thing comes after another. This happens first among the numbers, because on their view it is the void that distinguishes one number from another”. A esse respeito, Richard D. McKirahan pontua que a “ideia de que um sopro ilimitado envolve o *kosmos* lembra Anaxímenes, e a imagem do *kosmos* crescendo mediante a inalação desse sopro é familiar entre as primeiras ideias jônicas, ao passo que a concepção desse sopro como vazio, bem como o papel por ele desempenhado não pode ser postulada como sendo anterior aos atomistas do século V” (MCKIRAHAN, 2013, p. 190).

¹⁶ Na tradução consultada: “The fact of movement and change supports both those who say that place is something distinct from the bodies that come to occupy it, and those who say that void exists. People take void to be the cause of change in the sense of being that in which change occurs – which is the kind of thing some people say about place. But the reality of change does not mean that there has to be void. In general, there is no need for void to be the cause of all change, because it is perfectly possible for a plenum to alter qualitatively (which is also something Melissus overlooked). Nor do we need void to explain change of place either, since it is possible for things to make way for one another without there being any separate extension besides the moving bodies”.

depende da existência do vazio, já que o corpo que se desloca não precisa ocupar um espaço desocupado, mas pode perfeitamente preencher um lugar caso o ocupante deste também se desloque, abrindo “espaço” para o outro. Em suma, mudanças qualitativas e locais prescindem do vazio. Tais considerações acerca do movimento reforçam a tese aristotélica de que há apenas um tipo de extensão, a extensão dos corpos, cuja existência depende inteiramente destes¹⁷. Ou seja, não há lugares vazios: cada ponto do espaço está ocupado por algum corpo ou por algo como o ar.

Dito isso, Aristóteles prossegue com sua refutação, concentrando-se agora na tese de que não poderia haver movimento no vazio. Para o filósofo, caso o vazio seja conceituado como um lugar onde não há corpo, um corpo localizado nesse vazio não teria para onde se mover¹⁸. Esse é um dos pontos centrais da física aristotélica, e que fundamenta todo o conjunto de ideias do Estagirita relativo ao movimento. Trata-se da concepção de que *todo corpo possui um lugar natural, para onde se dirige e tende a permanecer*. Tal ideia está expressa no próprio Livro IV da *Física*, no âmbito da discussão acerca do “lugar”. Segundo o filósofo, uma das características do “lugar” seria a de que os corpos mover-se-iam para o seu lugar adequado, e de lá não sairiam¹⁹. Como o vazio seria desprovido de “lugares”, um corpo situado no vazio não poderia se deslocar para o seu lugar natural, já que este seria inexistente; e assim o corpo poderia se mover para qualquer ponto no vazio, algo que Aristóteles não admite. O historiador Alexandre Koyré esclarece o assunto de maneira bastante precisa:

¹⁷ Diz o Estagirita: “O que precisa ser demonstrado não é que o ar é algo, mas que o único tipo de extensão que existe é a extensão dos corpos, e que esta não pode ser separada dos corpos ou existir sem eles na realidade, e não podem separar-se do universo material [...]. Também necessita ser mostrado que, mesmo se o universo dos corpos for contínuo, não existe uma extensão separada dos corpos que exista fora dele” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 213a30-213b2). Na tradução consultada: “What needs demonstrating is not that air is something, but that the only kind of extension there is is the extension of bodies, and that this cannot be separated from bodies or exist without them in actuality, and cannot break up the material universe [...]. It also needs to be shown that, even if the universe of bodies is continuous, there is no extension separate from bodies that exists outside it”.

¹⁸ Nas palavras de Aristóteles, “se o vazio é algo como um lugar desprovido de corpo, então quando há vazio, para onde se moverá um corpo localizado nele? Quero dizer, ele não pode se mover para todas as partes do vazio” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 214b17). Na tradução consultada: “if void is something like place deprived of body, then when there is void, where will a body placed in it move to? I mean, it cannot move to all quarters of the void”.

¹⁹ Segundo o Estagirita, “cada corpo se move naturalmente para cima ou para baixo, para o seu lugar próprio, e permanece lá” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 211a4). Na tradução consultada: “every body naturally moves up or down to its own proper place and stays there”.

[...] 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 de se mover. [...] no vazio, com efeito, não só não há lugares naturais, como não há sequer quaisquer *lugares*. [...] O vazio não é nada, e situar qualquer coisa nesse nada é absurdo (KOYRÉ, 1986, p. 28, grifo do autor).

Assim, Aristóteles diverge completamente dos defensores do vazio, assumindo a posição contrária: enquanto estes diziam que o vazio seria uma condição necessária para o movimento, o Estagirita conclui que o vazio impossibilita o movimento.

1.3 Movimento circular

A discussão aristotélica acerca do movimento, englobando não apenas o seu conceito, mas também os tipos (retilíneo e circular; natural e não-natural; simples e composto) nos quais pode se apresentar, desenvolvida no tratado *De caelo*, constitui o cerne da dinâmica do Estagirita, uma vez que a caracterização do movimento se relaciona com todos os principais temas tratados por sua filosofia. O filósofo introduz o assunto no princípio do Livro I do *De Caelo*, com a sua caracterização dos movimentos retilíneos e circulares. Após admitir que todo corpo natural e grandeza é dotada de movimento próprio no espaço, o Estagirita explica que

“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)” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 268b17-24, grifos do tradutor).

O filósofo inicia sua explanação discorrendo sobre o movimento circular. Ele afirma que o movimento circular é simples, de modo que consiste no deslocamento de um corpo simples. Sendo assim, Aristóteles conclui que existe um corpo simples que se move naturalmente em um círculo²⁰. Em suma, o movimento circular é necessariamente natural e simples, não podendo ser o movimento natural de nenhum dos quatro elementos simples (terra, água, ar e fogo), constatação que, para Aristóteles, implica em

²⁰ Nas palavras do Estagirita, “se conclui necessariamente pela existência de um corpo simples de tal formação natural a se mover num círculo de acordo com sua própria natureza” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 269a5).

uma dificuldade, pois considerando que o movimento circular não pode ser o movimento natural dos elementos simples citados, estes precisariam ter um movimento natural que se configurasse como contrário ao movimento circular. Ocorre que o movimento natural do fogo e do ar é o ascendente, e o da terra e da água o movimento descendente, sendo estes mutuamente contrários e, assim, não poderiam ser considerados contrários ao movimento circular. Diz Aristóteles:

Contudo, a uma coisa só é possível possuir um contrário, sendo o contrário do ascendente o descendente, e do descendente o ascendente. Na suposição de que esse corpo em movimento num círculo contrário à sua própria natureza seja algo distinto [dos elementos], será imperioso haver algum outro movimento que lhe seja natural. Instaura-se aqui, entretanto, a impossibilidade, uma vez que se o movimento fosse ascendente, o corpo seria fogo ou ar, ao passo que, se fosse descendente, seria água ou terra (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 269a14-18).

Dado que o movimento circular não pode ser a forma natural e nem não-natural para quaisquer um dos quatro elementos, estes não podem se deslocar de forma circular. Assim, é preciso que haja um quinto elemento que possa fazê-lo, e cujo deslocamento ocorra no espaço, já que o movimento circular é um movimento natural no espaço²¹. Trata-se do *éter*, cujo nome remonta aos predecessores de Aristóteles, sendo derivado da ideia de algo que “*sempre flui eternamente*” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 270b25, grifos do tradutor)²².

1.4 O corpo primário: éter

Segundo Aristóteles, os antigos concebiam o éter como um corpo primário “distinto e além da terra e do fogo, do ar e da água” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 270b20-25), ou seja, como a região mais elevada do Cosmos. Ademais, resta a questão acerca de qual seria o movimento não-natural do éter, já que ao possuir um deslocamento circular, não pode se mover de forma ascendente ou descendente, em nenhuma hipótese. Diz Aristóteles:

²¹ Nas palavras de Aristóteles, “o movimento circular é o movimento no espaço de qualquer coisa, [...] entre os corpos simples e primários, que são movidos naturalmente em círculo” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 269b3).

²² Na sequência dessa passagem, Aristóteles diz que Anaxágoras utilizou a palavra “éter” para se referir ao fogo, recriminando-o por isso.

Supondo que [o éter] se movesse numa linha reta opondo-se à sua natureza, nesse caso, se o movimento fosse descendente, o movimento ascendente seria o seu movimento natural, e reciprocamente; de fato, convimos que de dois movimentos contrários, sendo um não-natural, o outro é natural (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 270a1-5).

Assim, se o éter se movesse de forma não-natural “para cima” ou “para baixo”, o deslocamento na direção oposta seria necessariamente o movimento contrário a este, ou seja, o movimento natural. Conclui-se, portanto, que o éter jamais pode se mover de forma retilínea, e dado que um movimento circular no espaço não admite contrário²³, o éter só se move conforme sua própria natureza, e nunca de forma oposta a ela. Essa particularidade confere ao éter um caráter

“não gerado e indestrutível, bem como não passível de crescimento e alteração, visto que tudo que é gerado vem a ser a partir de um contrário e de algum substrato, e é destruído igualmente em algum substrato graças a ação de um contrário em sua passagem a um contrário [...] Tem-se a impressão que a natureza corretamente isentou de contrários aquilo que era para ser não gerado e indestrutível, uma vez que a geração e a destruição estão submetidas aos contrários” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 270a13-17 e 270a21-23, grifos do tradutor).

Dito isso, Aristóteles conclui que o éter “é eterno; não está submetido nem ao crescimento nem ao decrescimento, sendo, sim, sem idade, inalterável e *impassível*” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 270b1-5, grifo do tradutor). Assim, dos três tipos de mudança elencados por Aristóteles no Livro VIII da *Física*²⁴, a saber, “mudança de tamanho²⁵, mudança de qualidade, e mudança de lugar (ou em outras palavras,

²³ Aristóteles pontua a “impossibilidade de haver um movimento contrário ao movimento circular no espaço” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 270a20).

²⁴ Aristóteles também trata da questão da mudança no Livro V, ao defender que os três tipos de mudança correspondem à mudança de algo que não é para algo que é (geração), de algo que é para algo que não é (corrupção), e de algo que é para algo que é (alteração). Nas palavras do autor, “Segue-se necessariamente disso que existem três tipos de mudança: de um ente para um ente, de um ente para um não-ente, e de um não-ente para um ente. Uma mudança de um não-ente para um não-ente é impossível porque não existe oposição envolvida: eles não são nem opostos nem contraditórios” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 225a7-11). Na tradução consultada: “It necessarily follows from this that there are three kinds of change: from an entity to an entity, from an entity to a non-entity, and from a non-entity to an entity. Change from a non-entity to a non-entity is impossible because there is no opposition involved: they are neither opposites nor contradictories”.

²⁵ Para designar a mudança quantitativa, empregou-se a palavra “tamanho” ao invés de “quantidade” com o intuito de manter-se coerente com a tradução em inglês utilizada, em que é adotada a expressão “change of size” (mudança de tamanho). Acerca da escolha da palavra “size” ao invés de “quantity” (quantidade), o tradutor explica que se atentou ao sentido no qual Aristóteles referiu-se à mudança quantitativa: o filósofo não estava falando de qualquer acréscimo ou diminuição, mas especificamente do crescimento dos seres vivos. Assim, segundo o tradutor, a supracitada expressão “fica no lugar da mais usual

movimento)”²⁶ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 260a26), o éter só estaria sujeito à mudança de lugar. Aristóteles empreende essa discussão na *Física*, esclarecendo que o éter se desloca de modo contínuo. Assim, dado que o éter é o único elemento cuja trajetória é circular, compreendemos outra particularidade do movimento circular, destacada no Livro VIII, quando o Estagirita afirma “que é possível que exista uma mudança infinita, que é simples e contínua, e que essa é o movimento circular”²⁷ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 261b27). O movimento circular é o único tipo de mudança que se configura como eterna²⁸, já que o movimento retilíneo não pode sê-lo.

1.5 Movimento natural e não-natural, simples e composto

Aristóteles conceitua o *movimento natural* como aquele através do qual o corpo tende a se mover em direção ao seu lugar natural, procurando retornar ao seu estado natural de repouso. Para o Estagirita, trata-se da afirmação 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” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 269a33, grifos do tradutor).

‘mudança de quantidade’, e ela é um passo no sentido à ênfase de Aristóteles no caso bastante especial do crescimento natural dos seres vivos. Mas na realidade existem muitas outras mudanças de quantidade que não são abrangidas pelas subseqüentes observações sobre o crescimento (por exemplo, qualquer tipo de diminuição)” (BOSTOCK, in ARISTOTLE, 1996, p. 293). No original em inglês: “stands in place of the more usual ‘change of quantity’, and it is one step towards Aristotle’s concentration on the rather special case of the natural growth of a living thing. But in fact there are many other changes of quantity which are not covered by the subsequent remarks on growth (e.g. any kind of decrease)”.

²⁶ Na versão em inglês: “change of size, change of quality, and change of place (or in other words, movement)”. Contudo, no original em grego, Aristóteles usa a palavra κινήσεων (na transliteração latina, “kinéseon”) para se referir aos três tipos de mudança elencados (ARISTOTLE, *Physics*, 1934, 260a27), uma palavra que costuma ser traduzida como “movimento”. Entretanto, κινήσεων deve ser entendido aqui como “mudança” em geral, e não apenas movimento local, conforme a tradução em inglês feita por Wicksteed & Cornford diretamente do original em grego, que aqui traduzo em português: “Agora, dos três tipos de movimento (no sentido mais amplo de mudança em geral), a saber, mudança de quantidade, mudança de qualidade, e mudança de lugar, que nós chamamos ‘locomoção’, essa última nomeada deve vir primeiro” (*ibid.*, p. 355, 260a27-29). Na tradução de Wicksteed & Cornford: “Now of the three kinds of motion (in the larger sense of change in general), to wit change of quantity, change of quality, and change of place, which we call ‘locomotion’, this last named must come first”.

²⁷ Na tradução consultada: “that it is possible for there to be an infinite change, which is single and continuous, and that this is circular movement”.

²⁸ Aristóteles é explícito em relação a isso, ao afirmar que “nenhum tipo de mudança exceto o movimento circular é ou infinita ou contínua” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 265a10-11). Na versão em inglês: “no kind of change except circular movement is either infinite or continuous”.

Segundo Aristóteles, cada corpo simples possui um movimento natural, de modo que o fogo e o ar se deslocam de forma ascendente, enquanto a água e a terra têm trajetória natural descendente²⁹. Tais corpos também podem se deslocar de forma *não-natural*³⁰, consistindo no movimento em direção contrária ao que executam naturalmente, ou seja, descendente para o fogo ou ar, e ascendente para água ou terra. Algo que se move de forma não-natural o faz de maneira forçada, impelido por um agente externo que esteja em contato direto com o corpo, cuja trajetória antinatural só persistirá enquanto houver tal contato. Ou seja, o movimento não-natural cessa assim que o motor e o corpo movido se separam, e na ausência dessa força causadora de um movimento contrário à natureza, o corpo torna a se mover segundo as suas disposições naturais, deslocando-se para cima, caso seja majoritariamente composto por fogo ou ar; ou para baixo, caso a proporção de água ou terra seja predominante. Depreende-se então que um corpo em movimento não precisa ser composto apenas por um elemento, podendo ser a combinação entre dois ou mais elementos, caso em que seu movimento natural será determinado de acordo com a disposição natural (ascendente ou descendente) do elemento preponderante no corpo. Trata-se dos *movimentos compostos*, próprios dos “corpos compostos, ainda que seja possível o movimento ser determinado pelo elemento predominante no composto” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 269a2).

Além de admitir a existência de movimentos compostos, a dinâmica aristotélica também assume a ocorrência de *movimentos simples*, caracterizados, por exemplo, quando um corpo é constituído por apenas um dos quatro elementos essenciais. Dessa forma, é possível que haja movimentos simples ou compostos na natureza; entretanto, apenas movimentos simples têm lugar no mundo celeste, devido às especificidades do *éter*, que compõe todos os corpos celestes e é exclusivo dessa região. Assim, ele não poderia se associar a nenhum outro, até mesmo porque os demais elementos não estariam presentes no céu.

²⁹ Trecho do *De caelo* (269a18), já citado na página 23.

³⁰ Alguns comentadores designam o movimento não-natural como “movimento violento”. Optei pela expressão “não-natural” devido ao seu emprego na tradução em português consultada, ao invés de “violento”.

1.6 Movimento retilíneo

A caracterização dos movimentos em “retilíneos” e “circulares”, empreendida no *De caelo*³¹, também aparece no Livro VIII da *Física*:

Todo objeto em movimento se move ou em um círculo ou em uma linha reta ou em um movimento composto por estes. Segue-se que se um ou outro movimento, circular ou retilíneo, não é contínuo, o movimento composto não pode ser contínuo também³² (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 261b28-30).

Ademais, a questão reaparece mais adiante, quando Aristóteles diz que

“todo movimento [...] é ou circular ou retilíneo ou uma combinação dos dois, e porque os dois primeiros compõem o último tipo, eles devem ter prioridade sobre ele. Também, o grau superior de simplicidade e completude possuído pelo movimento circular significa que ele tem prioridade sobre o movimento retilíneo. Em primeiro lugar, é impossível mover-se sobre uma linha reta infinita, porque não pode existir tal coisa como uma linha reta que seja infinita nesse sentido; mesmo que existisse tal coisa, ela não seria atravessada por nada, porque o impossível não acontece, e é impossível atravessar algo que seja infinito em extensão. Em segundo lugar, movimento em uma linha reta finita pode ou não inverter sua direção; se isso acontecer, ele é composto por dois movimentos, caso contrário, ele é incompleto e deve deixar de existir. [...] Agora, o movimento circular pode ser eterno, mas nenhum outro tipo de movimento, e nenhum outro tipo de mudança também, pode ser eterna, porque elas são destinadas ao repouso, e a presença de repouso significa que o movimento ou mudança deixaram de existir”³³ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 265a14-26).

Portanto, o movimento retilíneo não pode ser eterno porque visa ao repouso, ou seja, tem por finalidade deixar de existir em determinado momento. Aristóteles defende

³¹ Ver citação do *De caelo* (268b17-24) na página 22.

³² Na tradução consultada: “Every moving object moves either in a circle or in a straight line or in a motion compounded of these. It follows that if one or the other of straight or circular motion is not continuous, the compound motion cannot be continuous either”.

³³ Na versão em inglês: “Every movement [...] is either circular or rectilinear or a combination of the two, and because the first two make up the latter kind, they must have priority over it. Also, the higher degree of simplicity and completeness possessed by circular movement means that it has priority over rectilinear movement. 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. In the second place, movement on a finite straight line can either reverse direction or not; if it does, it is a composite of two movements, and if it does not, it is incomplete and must cease to exist. [...] Now, 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”.

que tudo tende ao repouso (exceto o éter), de modo que tanto o movimento natural como o forçado objetivam tal repouso, seja este no *lugar natural* do corpo ou não. De maneira mais específica, trata-se da ideia de que o movimento natural de um corpo se dirige ao lugar natural desse corpo, enquanto o movimento não-natural ou forçado se direciona a um lugar onde o corpo permanecerá enquanto for forçado a fazê-lo. Aristóteles expõe tal ideia no *De caelo*:

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, *Do céu*, 2014, 276a23).

Assim, de acordo com o Estagirita, tudo tende a permanecer em repouso, o que implica que até mesmo o movimento natural é, de certa forma, contrário às disposições dos corpos. A esse respeito, Koyré destacou a necessidade de fazer com que as coisas repousem em seus respectivos lugares naturais, por meio dos movimentos naturais³⁴. Koyré caracteriza os movimentos como sendo *desequilíbrios*³⁵, já que são as tentativas do corpo de retornar ao seu lugar natural e lá permanecer até que uma força contrária à natureza o obrigue a se deslocar, ocasião em que seu movimento será antinatural, também um *desequilíbrio*.

Os movimentos retilíneos ascendente e descendente³⁶ são mutuamente contrários porque ambos tomam direções opostas, sendo que quando um deles é natural o outro é necessariamente antinatural, implicando também oposição quanto ao princípio motriz responsável pelo respectivo deslocamento. Movimentos naturais ocorrem porque o corpo possui algo intrínseco que o faz retornar ao seu lugar natural, onde repousa;

³⁴ Em suas palavras, dever-se-ia “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” (KOYRÉ, 1986, p. 23).

³⁵ Segundo Koyré, “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” (*ibid.*, p. 23).

³⁶ Diz Aristóteles: “o movimento retilíneo [é] 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)” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 268b20-23, grifos do tradutor).

contudo, o movimento violento só pode ser causado mediante a ação de um agente externo ao projétil, que sustentará sua trajetória antinatural enquanto for uma força superior ao princípio interno do corpo, que busca reconduzi-lo ao seu lugar. Diz Crombie:

No movimento natural, esse agente [motor] era um princípio intrínseco, atuando ou como uma causa eficiente, por exemplo a “alma” nos seres vivos [...], ou como um princípio produzindo movimentos espontâneos característicos em um ambiente específico, como no movimento dos corpos em direção a seus “lugares naturais”. [...] No movimento “violento”, forçado ou antinatural, o agente era sempre um motor externo que acompanhava o movimento do corpo e impunha nele sua forma alheia de movimento³⁷ (CROMBIE, 1961, p. 47).

Todavia, pontua Crombie, o princípio geral aristotélico de que “tudo o que se move deve ser movido por algo”³⁸ continua válido para quaisquer movimentos³⁹. Ademais, a ideia de que a existência de um motor (seja ele intrínseco ao corpo ou externo) é imprescindível para que os movimentos ocorram relaciona-se com um dos pontos mais debatidos acerca da dinâmica aristotélica, ainda na Antiguidade. Trata-se do problema de explicar como corpos que já perderam o contato com o agente motor que causou o seu deslocamento permanecem com o seu movimento antinatural. É a questão do *movimento dos projéteis*.

³⁷ No original: “In natural motion this agent was an intrinsic principle, acting either as an efficient cause, for example the ‘soul’ in living things [...], or as a principle producing characteristic spontaneous motion in a particular environment, as in the motion of bodies towards their ‘natural place’. [...] In unnatural or forced ‘violent’ motion, the agent was always an external mover which accompanied the moving body and imposed its alien form of movement on it”.

³⁸ Aristóteles defende tal princípio em mais de uma passagem da *Física*. Trata-se da primeira sentença contida no Livro VII, quando ele diz: “Tudo o que muda deve ser mudado por algo” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 241b34). No original: “Everything that changes must be changed by something”. No Livro VIII, o Estagirita retoma a ideia, afirmando que “tudo o que muda é mudado por alguma coisa” (*ibid.*, p. 200, 256a3). No original: “everything that changes is changed by something”. As palavras « changes » e « changed » foram traduzidas aqui, respectivamente, como « muda » e « mudado », entendendo-se assim que Aristóteles se referia à “mudança” de uma maneira geral, e não apenas à mudança local (movimento). Contudo, isso não implica alteração de sentido, pois se tudo o que muda é mudado por algo, então necessariamente tudo o que se move é movido por algo, pois na filosofia aristotélica o movimento é uma das formas de mudança. Fátima Évora expressa a diferença entre os termos, ao afirmar que “embora todo movimento seja uma mudança, nem toda mudança é movimento” (ÉVORA, 2005, p. 131).

³⁹ Esse princípio também foi defendido por Platão no *Timeu*, quando ele afirma ser “difícil – ou melhor, impossível – haver um movido sem um movente ou um movente sem um movido; não é possível haver movimento sem a existência destes termos” (PLATÃO, 2011, p. 149, 57e).

1.7 Movimento dos projéteis

A expressão “movimento dos projéteis” é utilizada para designar, na filosofia aristotélica, a trajetória forçada de um corpo, que se desloca em sentido oposto ao seu lugar natural. Em suma, trata-se do movimento violento de um objeto como, por exemplo, o de uma pedra, que ao ser arremessada contraria sua disposição natural de se deslocar em direção à terra. Para Aristóteles, o movimento do projétil só ocorre se houver um agente motor, de modo que a pedra só se desloca caso alguém a lance pelos ares. Ademais, esse agente motor deve estar em contato com o corpo movido para causar o movimento, condição destacada por Aristóteles no Livro VII, Capítulo II⁴⁰ da *Física*:

Qualquer agente imediato de mudança – não no sentido que seja o propósito da mudança, mas no sentido que seja a fonte original da mudança – é contíguo com o que é movido (por ‘contíguo’ quero dizer que nada exista entre eles). Isso é comum para todo agente de mudança e objeto movido⁴¹ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 243a32).

Contudo, Aristóteles não se refere apenas ao instante do lançamento, que faz o objeto se deslocar de forma antinatural. Segundo o Estagirita, o motor e o corpo devem estar em contato durante todo o tempo em que durar o movimento. Como afirma Koyré:

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 (KOYRÉ, 1986, p. 26).

⁴⁰ Existem duas versões diferentes dos três primeiros capítulos do Livro VII da *Física*, chamadas por David Bostock de versões α e β , sendo a tradução apresentada baseada na versão α (BOSTOCK, in ARISTOTLE, 1996, p. lxx, nota 48). Sobre isso, diz Bostock: “devo observar que há a estranha situação de termos duas versões dos Capítulos 1 a 3 do Livro VII, diferindo entre si em um grande número de pequenas formas, e ambas *parecendo* ser de Aristóteles (embora isso seja controverso). Não há nada parecido com isso em qualquer um dos outros escritos de Aristóteles, mas não está claro qual hipótese explicaria melhor a anomalia” (*ibid.*, p. lxx, grifo do autor). No original: “I should observe that there is the odd situation that we have two versions of Chapters 1-3 of Book VII, differing from one another in a large number of small ways, and both *seeming* to be by Aristotle (though this is disputed). There is nothing else quite like this with any of Aristotle's other writings, but it is not clear what hypothesis would best explain the anomaly”.

⁴¹ Na tradução consultada: “Any immediate agent of change – not in the sense that it is the purpose of the change, but in the sense that it is the original source of the change – is contiguous with what is changed (by ‘contiguous’ I mean that there is nothing between them). This is common to every agent of change and changed object”.

A exigência de um contato permanente entre os corpos envolvidos no movimento propiciou o questionamento acerca do movimento dos projéteis. De modo taxativo, Koyré esclarece que a física aristotélica tem “um só e único defeito [...]: o de ser contrariada por uma prática diária, pela prática do arremesso” (KOYRÉ, 1986, p. 26)⁴². O lançamento de uma flecha, por exemplo, parece refutar toda a argumentação do Estagirita, já que ela se separa do arco assim que se põe em movimento. Contudo, no Livro VIII da *Física*, Aristóteles justificou o aparente desacordo entre o fenômeno do arremesso e a explicação que dera ao mesmo, dizendo que o ar seria responsável pela continuidade do movimento do projétil:

Dado que, à exceção daquilo que move a si mesmo, 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 mova⁴³ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 266b27).

Antes disso, no Livro IV, ao elencar as provas que, em sua opinião, inviabilizariam a existência do movimento no vazio, Aristóteles detalha como se daria a ação do ar durante a trajetória de um projétil. De acordo com o filósofo,

“e sobre o fato de que, quando coisas são arremessadas, elas continuam a se mover quando o arremessador não está mais lhes tocando? Isso pode ser devido à substituição, como alguns dizem, ou ao ar estar sendo empurrado mais rápido, para que ele ultrapasse o movimento natural do objeto empurrado para seu lugar próprio. Mas nenhuma dessas condições prevalece no vazio”⁴⁴ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 215a14).

⁴² Todavia, Koyré reconhece que o empreendimento aristotélico “é uma ‘física’, isto é, uma ciência altamente elaborada, embora não o seja matematicamente. Não se trata de imaginação pueril, nem de grosseiro enunciado logomáquico de senso comum, mas de uma teoria, ou seja, uma doutrina que, partindo naturalmente dos dados do senso comum, os submete a um tratamento extremamente coerente e sistemático” (KOYRÉ, 2011, p. 173).

⁴³ Na tradução consultada: “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”.

⁴⁴ Na tradução consultada: “what about the fact that when things are thrown, they continue to move when the thrower is no longer touching them? This may be due to replacement, as some say, or to the air’s

Conforme a passagem, o Estagirita considera duas maneiras pelas quais o ar poderia interferir no movimento antinatural. Nas palavras de Évora, isso se daria por meio da “substituição recíproca, de acordo com a qual o ar empurrado adiante pelo projétil volta e toma o lugar do projétil, e então empurra-o adiante” (ÉVORA, 1993, p. 86); ou quando “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” (*ibid.*, p. 86). Em ambos os casos, diz Aristóteles, a atuação do ar não seria possível no vazio.

Ademais, Aristóteles pontua no Livro III do *De caelo* que o ar não atuaria apenas na conservação do movimento forçado do projétil, contribuindo também com o movimento natural realizado pelo corpo para retornar ao seu lugar natural. O filósofo pontua que o ar pode ser leve ou pesado, sendo justamente sua leveza que produz o movimento ascendente que o faz impulsionar um corpo depois que este perdeu o contato com o motor⁴⁵; e seu peso o que gera o movimento descendente que contribui para o retorno do corpo ao respectivo lugar natural, acelerando-o. Ou seja, Aristóteles concebe o ar como sendo uma *força*, que atua como se estivesse adentrando⁴⁶ o objeto, aumentando sua velocidade em direção ao solo no caso do movimento natural, ou empurrando-o após seu arremesso, conservando seu deslocamento antinatural. Segundo o Estagirita,

“todo movimento é natural ou imposto, de modo que o movimento natural é acelerado pela força, tal como aquele de uma pedra em movimento descendente, que se acresça ser ela que produz o movimento não-natural. Em ambos os casos o ar é empregado como

being pushed faster, so that it overcomes the natural movement of the pushed object towards its own proper place. But none of these conditions obtain in a void”.

⁴⁵ De acordo com Crombie, Aristóteles “propôs que a corda do arco ou mão comunicava certa qualidade ou ‘poder de estar em movimento’ (como ele disse no Livro 8, Capítulo 10 da *Física*, 267a4) ao ar em contato com ela, que isso transmitia o impulso para a próxima camada de ar, e assim por diante, mantendo assim a flecha em movimento até o poder gradualmente desaparecer. Esse poder, disse ele, vinha do fato de que o ar (e a água), sendo elementos intermediários, eram pesados ou leves, dependendo de seu ambiente real. O ar poderia, assim, mover um projétil para cima a partir de seu próprio movimento natural” (CROMBIE, 1961, p. 50). No original: “proposed that the bowstring or hand communicated a certain quality or ‘power of being a movent’ (as he said in book 8, chapter 10 of the *Physics*, 267a4) to the air in contact with it, that this transmitted the impulse to the next layer of air, and so on, thus keeping the arrow in motion until the power gradually died away. This power, he said, came from the fact that air (and water), being intermediate elements, were heavy or light, depending on their actual environment. The air could thus move a projectile upwards from its own natural motion”.

⁴⁶ Ao considerar que a força do ar atuaria como se estivesse adentrando a coisa movida (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 301b25-30), o Estagirita parece se aproximar da noção de força impressa, proposta por Hiparco de Niceia séculos mais tarde. Ver tópico 2.5, página 70.

instrumento. 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. É de maneira idêntica que o movimento natural de cada um [dos corpos] recebe auxílio” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 301b20-30, grifos do tradutor).

Ao contornar o embaraço que o fenômeno do arremesso poderia causar a sua teoria, Aristóteles visa “salvar os fenômenos”⁴⁷, associando sua explicação do mundo natural aos fatos observáveis; e, por extensão, confirma um dos princípios primeiros de sua filosofia, a saber, o de que “o movimento violento é causado pela ação contínua de um agente” (LOSEE, 1979, p. 22)⁴⁸.

1.8 A impossibilidade do movimento no vazio

Para Aristóteles, a existência do vazio impossibilita o movimento natural, uma vez que a ausência de lugares naturais para cada corpo faria com que estes não possuíssem um local específico para onde se deslocar, visando ao repouso⁴⁹. Contudo, o filósofo foi mais além, defendendo a tese de que *o vazio impede qualquer movimento, seja este natural ou violento*:

A noção de que tem de haver vazio para o movimento ocorrer acaba, após reflexão, sendo exatamente o oposto dessa verdade: o vazio torna impossível que qualquer coisa se mova. A ideia de que a terra está em repouso por causa do equilíbrio das coisas é análoga: pela mesma razão, qualquer coisa no vazio está destinada a estar em repouso, pois não há lugar para ela se mover que seja mais ou menos [adequado] do

⁴⁷ De acordo com Japiassú e Marcondes, “a expressão ‘salvar os fenômenos’ consiste em acrescentar hipóteses suplementares a uma teoria de modo que os fatos que pareciam contradizê-la possam ser explicados por ela” (JAPIASSÚ; MARCONDES, 1996, p. 101). No caso em questão, a ação do ar para manter os corpos em movimento é a hipótese que Aristóteles usa para adequar sua teoria ao dado observável. Alguns autores preferem utilizar a expressão “salvar as aparências”, como John Losee e Gerard Legrand, que a designa como “a necessidade de não formular hipóteses a não ser as que conservam alguma realidade com os factos observados” (LEGRAND, 1991, p. 172).

⁴⁸ Segundo Losee, os outros princípios são: todo movimento é natural ou violento; movimento natural é o que se dirige a um lugar natural; e que o vácuo é impossível (LOSEE, 1979, p. 22).

⁴⁹ Ver tópico 1.2.

que qualquer outro lugar, porque o vazio, por definição, não contém diferenciação”⁵⁰ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 214b28-33).

Segundo Aristóteles, “se os corpos naturais carecem de suas próprias formas específicas de movimento natural, eles não se moverão de qualquer outra maneira também”⁵¹ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 215a5-6). De fato, a inexistência de movimentos naturais no vazio impossibilita os movimentos violentos, pois como se poderia afirmar que um corpo estaria em uma trajetória antinatural sem que houvesse um movimento natural para lhe fazer contraponto? Os dois argumentos, contra o movimento natural e o violento no vazio, são suficientes para concluir que tais mudanças não podem ocorrer; ainda assim, o Estagirita prossegue elencando razões para sustentar a tese, ao recorrer ao problema da continuidade do movimento dos projéteis após a perda do contato com o agente motor, um fenômeno causado pela ação do ar, mas que não poderia acontecer no vazio:

Isso [movimento dos projéteis] pode ser devido à substituição, como alguns dizem, ou ao ar sendo empurrado mais rápido, para que ele ultrapasse o movimento natural do objeto impulsionado, em direção ao seu próprio lugar. Mas nenhuma dessas condições prevalece no vazio⁵² (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 215a15-18).

Nesse caso, a impossibilidade decorre do fato de que “o vazio [...] não é um meio e não pode receber nem, portanto, transmitir e conservar o movimento” (KOYRÉ, 1986, p. 28), de modo que o ar não poderia sequer se deslocar no vazio, quanto mais propiciar que outra coisa o faça. Dado que não haveria transmissão, “o movimento no vazio equivaleria a um movimento sem motor” (*ibid.*, p. 28), algo que para a filosofia aristotélica seria um absurdo.

⁵⁰ Na tradução consultada: “The notion that there has to be void for movement to occur turns out, on reflection, to be quite the opposite of the truth: void makes it impossible for anything to move. The idea that the earth is at rest because of the equilibrium of things is analogous: by the same token, anything in a void is bound to be at rest, since there is nowhere for it to move to more or less than anywhere else, because the void by definition contains no differentiation”.

⁵¹ Na tradução consultada: “if the natural bodies lack their own specific forms of natural movement, they will not move in any other way either”.

⁵² Na tradução consultada: “This may be due to replacement, as some say, or to the air’s being pushed faster, so that it overcomes the natural movement of the pushed object towards its own proper place. But none of these conditions obtain in a void”.

Embora tenha defendido vigorosamente que o contato entre dois corpos é imprescindível para que o movimento se mantenha, Aristóteles esteve a ponto de admitir o princípio de *inércia*, ou seja, de que o movimento persistiria indefinidamente na ausência de forças que pudessem afetá-lo, mas em seguida rejeita tal ideia⁵³. Diz Aristóteles:

seria impossível explicar por que algo que foi posto em movimento deveria parar em qualquer lugar: por que deveria parar aqui ao invés de lá? Ou ele nunca se move ou tem que continuar em movimento para sempre, a menos que algo mais forte do que ele o impeça⁵⁴ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 215a19-21).

Acima, ao sugerir uma nova concepção acerca do movimento, contrária às suas próprias ideias, Aristóteles insiste em sua enumeração de razões para negar o vazio, tornando a dizer que, caso exista tal coisa, não haveria motivos para os corpos repousarem em um ponto ao invés de outro (ausência de lugares naturais). Dito isso, introduz a ideia de movimento e repouso perpétuos, algo que aparentemente só se daria no vazio, onde alterações não são possíveis e, portanto, ou se está em movimento ou em repouso. Dessa maneira, Aristóteles associa duas ideias que, ao seu ver, são impensáveis: a existência do vazio e a caracterização do movimento e do repouso como sendo *estados*, ou seja, como algo que tende à conservação. Essa última noção ficaria conhecida, na física clássica, como *princípio de inércia*.

Aristóteles ainda argumentou que, no vazio, os corpos teriam a mesma velocidade, já que esta seria inversamente proporcional à resistência do meio ao deslocamento do corpo, e tal resistência não existiria no vazio.

1.9 Influência platônica na definição aristotélica do Cosmos

A filosofia natural de Aristóteles engloba uma teoria completa acerca do Universo e suas causas, semelhante àquela desenvolvida por Platão no *Timeu*, que contém uma descrição do mundo como sendo formado pelo mesmo conjunto de

⁵³ A esse respeito, Cordón e Martínez pontuam que “já Aristóteles tinha dado uma formulação explícita da lei de inércia... para rejeitá-la imediatamente como absurda” (CORDON; MARTINEZ, 1990, p. 78).

⁵⁴ Na tradução consultada: “it would be impossible to explain why something which has been set in motion should stop anywhere: why should it stop here rather than there? Either it never moves or it has to go on and on moving for ever, unless something stronger than it impedes it”.

elementos que compõe a região sublunar aristotélica: terra, água, ar e fogo. Inicialmente, Platão explica que o mundo deve ser visível e tangível, e por essa razão deve ser composto pelo fogo e pela terra; estes, por sua vez, relacionam-se por meio de um terceiro elemento, um intermediário:

É forçoso que aquilo que deveio seja corpóreo, visível e tangível; mas, separado do fogo, sem dúvida que nada pode ser visível, nem nada pode ser tangível sem qualquer coisa sólida e nada pode ser sólido sem terra. Daí que o deus, quando começou a constituir o corpo do mundo, o tenha feito a partir de fogo e de terra. Todavia, não é possível que somente duas coisas sejam compostas de forma bela sem uma terceira, pois é necessário gerar entre ambas um elo que as una. O mais belo dos elos será aquele que faça a melhor união entre si mesmo e aquilo a que se liga, o que é, por natureza, alcançado da forma mais bela através da proporção (PLATÃO, 2011, p. 100, 31b-c).

Depreende-se dessa passagem do *Timeu* que deve haver perfeita proporcionalidade entre a terra, o fogo e o elemento intermediário. Contudo, Platão acredita que três elementos seriam suficientes para explicar a estrutura do mundo apenas se este consistisse em algo plano, o que não é o caso, dado que o mundo possui profundidade. Assim, dois intermediários são necessários, completando o conjunto dos quatro elementos citados:

Ora, se o corpo do mundo tivesse sido gerado como uma superfície plana, sem nenhuma profundidade, um só elemento intermédio teria sido suficiente para o unir aos outros termos. Porém convinha que o mundo fosse de natureza sólida, e, para harmonizar o que é sólido não basta um só elemento intermédio, mas sim sempre dois. Foi por isso que, tendo colocado a água e o ar entre o fogo e a terra, e, na medida do possível, produzido entre eles a mesma proporção, de modo a que o fogo estivesse para o ar como o ar estava para a água, e o ar estivesse para a água como a água estava para a terra, o deus uniu estes elementos e constituiu um céu visível e tangível. Foi por causa disto e a partir destes elementos – elementos esses que são em número de quatro – que o corpo do mundo foi engendrado, posto em concordância através de uma proporção; e a partir destes elementos obteve a amizade, de tal forma que, tornando-se idêntico a si mesmo, é indissolúvel por outra entidade que não aquela que o uniu (*ibid.*, p. 100-101, 32a-c).

Segundo Platão, a união dos quatro elementos era essencial para a proporcionalidade do mundo, bem como para garantir que este jamais pudesse ser destruído, a não ser pela própria entidade que o forjou. Esse mundo material platônico era um *ser vivo* completo, perfeito e único, por reunir em si a totalidade dos quatro

elementos; ademais, também era imperecível e, portanto, indestrutível (a não ser, é claro, pela vontade da entidade criadora). Platão caracteriza-o do seguinte modo:

Assim, a constituição do mundo tomou cada um destes quatro elementos na sua totalidade. Foi a partir da totalidade do fogo, da água, do ar e da terra que aquele que constituiu o mundo o constituiu, não deixando de fora parte alguma nem propriedade alguma, pois este era o seu desígnio: em primeiro lugar, que fosse, acima de tudo, um ser-vivo completo e perfeito, constituído a partir de partes perfeitas; em seguida, que fosse único, posto que não sobraria nada a partir do qual pudesse ser gerado um outro da mesma natureza; e ainda, que estivesse imune ao envelhecimento e à doença, pois ele tinha perfeita consciência de que o calor, o frio e outras forças violentas, cercando de fora um corpo composto e caindo sobre ele, dissolvem-no e, impondo-lhe doenças e envelhecimento, causam a sua destruição. Foi por este motivo, e com base neste raciocínio, que a partir da globalidade dos todos produziu um só todo perfeito, imune ao envelhecimento e à doença. Além disso, deu-lhe a figura adequada e congénere. De facto, a forma adequada ao ser vivo que deve compreender em si mesmo todos os seres vivos será aquela que compreenda em si mesma todas as formas. Por isso, para o arredondar, como que por meio de um torno, deu-lhe [ao Universo] uma forma esférica, cujo centro está à mesma distância de todos os pontos do extremo envolvente – e de todas as figuras é essa a mais perfeita e semelhante a si própria –, considerando que o semelhante é infinitamente mais belo do que o dissemelhante (PLATÃO, 2011, p. 101-102, 32c-33b).

A passagem evidencia que a similaridade entre a cosmologia platônica e a aristotélica não se restringe aos constituintes materiais do mundo físico, concordando também no tocante ao seu formato. Para Platão, o mundo possuía formato de uma esfera, a mais perfeita de todas as formas geométricas, e única capaz de agregar as demais; isso, por conseguinte, tornava-a capaz de reunir todos os elementos corpóreos do mundo. Por sua vez, Aristóteles defendia a esfericidade porque quando um corpo sofre a pressão de outro mais pesado, essa interação não ocasiona uma crista na superfície da Terra, mas uma junção de forças em direção ao centro:

Ela [a Terra] possui necessariamente forma esférica, pois cada uma de suas partes detém peso até atingir o centro; o resultado é que sempre que uma parte menor sofre pressão de uma maior, *não é produzida uma crista*; pelo contrário, além de ocorrer a compressão, as partes realizam uma permuta até alcançar o centro (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 297a8-12, grifos do tradutor).

Os filósofos chegam à mesma conclusão, não obstante as justificativas distintas. Nota-se que Platão enfatiza o caráter geométrico (perfeição da forma esférica), enquanto Aristóteles busca justificar a esfericidade da Terra recorrendo a fenômenos

observacionais. Acerca da afinidade entre a cosmologia do mestre e do discípulo, comenta Évora:

Em ambos os sistemas, o Universo se contém a si mesmo e é autossuficiente; e tem como estrutura básica o Universo das duas esferas, sendo formado por uma pequena esfera, a Terra, suspensa no centro geométrico de uma vasta, porém finita, esfera em rotação, que leva consigo as estrelas fixas. Além da esfera exterior não há nada, nem espaço, nem matéria (ÉVORA, 1993, p. 35).

Depreende-se, portanto, que além da esfericidade, Platão e Aristóteles também defendem a unicidade do mundo, de modo que suas descrições do Cosmos corresponderiam à totalidade do que existe. Nada pode existir além desse mundo uno, delimitado pela circunferência extrema, οὐρανός (uranos)⁵⁵ que, por sua vez, pode ser entendida como “céu” ou “mundo”:

Num primeiro sentido chamamos de uranos a *substância da circunferência extrema do universo*, ou o *corpo natural* situado na circunferência extrema do universo; de fato, costumamos chamar de uranos a região extrema, mais superior, a qual também constitui, acreditamos, a morada de toda a divindade. Um outro sentido é o do corpo que dá continuidade à circunferência extrema do universo, ali onde estão a lua, o sol e certos astros, dos quais dizemos, de fato, que estão no uranos. Ainda atribuímos um outro sentido a uranos, a saber, empregando a palavra para indicar todo o corpo encerrado pela circunferência extrema. Isso decorre de nosso hábito de conferir o termo uranos ao *tudo e ao universo* (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 278b12-21, grifos do tradutor).

Das três interpretações aristotélicas de οὐρανός, percebe-se que as duas primeiras (substância da própria circunferência e corpos celestes abaixo dessa circunferência) podem ser entendidas como sendo o “céu”, enquanto a última (totalidade de corpos envolvidos pela circunferência extrema, incluindo-se a Terra) designaria o “mundo”. O mundo, portanto, está limitado por esta circunferência, depreendendo-se daí que nada poderia existir para além disso, ideia que também configura mais uma objeção aristotélica à possibilidade do vazio, conforme esclarece o Estagirita no *De caelo*:

⁵⁵ No original em grego, a palavra é οὐρανός, que o tradutor Edson Bini prefere transliterar como “uranos”, ao invés de optar pela palavra “céu” ou “mundo”, atentando para “os múltiplos sentidos dessa palavra que, como tantas outras no grego, não é possível traduzir de modo plenamente satisfatório por um único vocábulo em português” (BINI, in ARISTÓTELES, 2014, p. 78).

o todo encerrado pela circunferência extrema inclui necessariamente a totalidade do corpo natural e perceptível sensorialmente, porque não existe nem é possível vir a ser qualquer corpo fora do céu [...]. Evidencia-se também que fora do céu inexistia espaço, ou vazio ou tempo, isto porque é possível a presença de corpo em todo espaço. O vazio, na sua definição prosaica, é aquilo que, embora sem a presença do corpo, pode vir a contê-lo; *tempo é o número do movimento*⁵⁶, e sem corpo natural não existe este último. Ora, tendo sido demonstrado que *nem existe nem é possível o corpo vir a ser*, evidencia-se, assim, a inexistência ou de espaço, ou de vazio, ou de tempo fora do céu (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 278b22-25 e 279a12-17, grifos do tradutor).

Dito isso, convém notar que o termo οὐρανός pode denotar tanto o mundo supralunar (no caso das duas primeiras acepções da palavra, associada ao sentido de céu) quanto ambos os mundos (supralunar e sublunar), quando pode ser mais bem traduzida por “mundo”, representando a totalidade dos corpos abrangidos pela circunferência extrema. Tal circunferência abrange cinquenta e nove esferas, sendo a da Terra a esfera central a todas as demais, envolta pela esfera da água, esta, pela esfera do ar que, por fim, está envolta pela esfera do fogo. Contudo, conforme aponta Évora,

“após a esfera de fogo existem, segundo Aristóteles, exatamente cinquenta e cinco esferas cristalinas interconectadas, cujo centro comum é a Terra. Cada um dos sete planetas, Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno, se encontra no interior de um grupo destas esferas” (ÉVORA, 1993, p. 37).

Ou seja, se o mundo supralunar comporta cinquenta e cinco esferas, e o sublunar as esferas da terra, água, ar e fogo, então o Universo seria formado por cinquenta e nove esferas⁵⁷. A composição geométrica do mundo sublunar, conforme imaginada por Aristóteles, consiste em quatro esferas concêntricas, cada uma delas representando o lugar natural de um dos quatro elementos terrestres. A esfera da Lua divide os mundos sublunar e supralunar, ou seja, a região terrestre e a celeste, sendo cada uma dessas regiões compostas por elementos distintos: no mundo sublunar, pela terra, água, ar e fogo; no mundo supralunar, pelo éter⁵⁸.

⁵⁶ No original em grego, χρόνος δὲ ἀριθμὸς κινήσεως, traduzido em inglês como “time is the number of motion” (ARISTOTLE, *On the Heavens*, 1939, 279a15-16), isto é, “tempo é o número do movimento”.

⁵⁷ Tal conclusão é corroborada por David Ross, ao afirmar que Aristóteles “obtem ao todo 55 esferas. Se acrescentarmos quatro para o fogo, ar, água e terra, obtemos um universo composto de 59 esferas concêntricas” (ROSS, 1987, p. 104).

⁵⁸ Segundo Évora, a esfera lunar “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

Considerando que todos os elementos do mundo supralunar são feitos de éter, nesta região só poderiam ocorrer movimentos circulares; por sua vez, dada que a totalidade das coisas terrestres são compostas por um ou por uma combinação de terra, água, ar e fogo, e sendo que todos os movimentos desses corpos são retilíneos, então esta é a única forma de movimento possível no mundo sublunar.

1.10 Modelos astronômicos

A crença de Aristóteles de que o mundo celeste era constituído por cinquenta e cinco esferas baseou-se em seus aperfeiçoamentos ao modelo astronômico de Calipo de Cízico (370 - 300 a.C.) que, por sua vez, consistia em uma alteração do que fora proposto por seu mestre Eudoxo de Cnido (408 - 355 a.C.), um discípulo de Platão que introduziu o modelo das *esferas homocêntricas* visando conciliar o modelo geocêntrico platônico (de órbitas circulares e movimentos uniformes perfeitos) com o movimento planetário, ou seja, uma tentativa de “salvar os fenômenos”, tarefa da qual o próprio Platão teria declinado⁵⁹. O sistema de Eudoxo era constituído por vinte e sete esferas, distribuídas da seguinte forma:

Sol e Lua estariam presos cada um a três esferas concêntricas interligadas, de forma que o movimento combinado dessas estruturas ao redor de eixos com diferentes inclinações teria como resultado final o movimento observado no céu. Já os cinco planetas estariam conectados a quatro esferas cada um, a fim de explicar suas trajetórias erráticas (principalmente o movimento conhecido como ‘retrogradação’, uma espécie de laçada que os planetas realizam no céu). Finalmente, a esfera onde estavam dispostas as estrelas fixas seria mesmo apenas uma, que se moveria de oeste para leste (CHERMAN; MENDONÇA, 2010, p. 32).

Entretanto, Calipo reformulou o modelo de Eudoxo, acrescentando-lhe sete esferas: duas para o Sol, duas para a Lua, e uma para cada um dos três planetas mais próximos (Mercúrio, Vênus e Marte). Sendo assim, adotou um sistema composto por

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)” (ÉVORA, 1993, p. 40). Tal passagem sintetiza o entendimento aristotélico do Cosmos.

⁵⁹ Segundo Cherman & Mendonça (2010, p. 32), “Platão se esquivou dessa questão”.

trinta e quatro esferas concêntricas⁶⁰. O próprio Aristóteles detalha tal modificação no Livro XII, capítulo 8 da *Metafísica*:

Calipo supôs o mesmo arranjo das esferas de Eudoxo, quer dizer, do ponto de vista da ordem de seus intervalos. Mas, quanto ao número delas, embora tenha atribuído a Júpiter e Saturno o mesmo número de esferas que Eudoxo, pensou que deviam ser adicionadas mais duas esferas para o sol e a lua – se quiséssemos dar uma explicação ao fenômeno – e uma para cada um dos demais planetas (ARISTÓTELES, *Metafísica*, 2012, 1073b32).

Apesar de ter contribuído para a construção do modelo de Calipo, que era seu contemporâneo, o Estagirita não se contentou com as alterações propostas, empenhando-se em melhorá-lo, adequando-o de maneira mais precisa às observações astronômicas. Desprezando a ideia do vácuo, Aristóteles teve de lidar com a dificuldade de que todas as esferas estariam em contato direto entre si, o que se por um lado propiciaria o movimento das esferas imediatamente inferiores, garantindo o funcionamento do sistema, por outro causava o problema de que uma esfera também deslocaria a esfera imediatamente superior, da qual recebera seu próprio movimento. Para contornar isso, o filósofo propôs a existência de “esferas compensadoras” em cada grupo de esferas, e cujos movimentos seriam contrários a estas, anulando assim a influência destas esferas sobre as esferas dos outros astros⁶¹. Aristóteles explica o seu modelo na sequência aos comentários acerca de Calipo:

Mas, se a combinação de todas as esferas tem que dar conta dos fenômenos, tem que haver para cada um dos outros planetas outras esferas, uma a menos das já mencionadas, que contrariem estas e devolvam à mesma posição a primeira esfera do astro que, em cada caso particular, está situado abaixo do astro em pauta. Somente desta maneira pode a combinação das forças produzir o movimento dos planetas. Assim, como as forças responsáveis pelo movimento dos próprios planetas são oito para Júpiter e Saturno, e vinte e cinco para os demais, e considerando-se que destas as únicas que não necessitam ser contrariadas são as que produzem o movimento do planeta situado mais abaixo, as esferas contrárias para os dois primeiros planetas serão seis, e as dos quatro restantes serão dezesseis. O número total das esferas, incluindo tanto as responsáveis pelo movimento dos planetas quanto as que os contrariam, será cinquenta e cinco (ARISTÓTELES, *Metafísica*, 2012, 1074a1-11).

⁶⁰ Tal quantidade compreende a esfera das estrelas fixas, 4 esferas para Saturno, 4 esferas para Júpiter e, por fim, 5 esferas para cada um dos planetas restantes (Marte, Vênus, Mercúrio, Sol e Lua).

⁶¹ CHERMAN; MENDONÇA, 2010, p. 33.

Nesse trecho, Aristóteles sintetiza o seu modelo astronômico expressando claramente o seu objetivo de “dar conta dos fenômenos”, ou seja, de “salvar os fenômenos”. Fundamentalmente, a mudança introduzida pelo Estagirita foi acrescentar para cada um dos planetas determinada quantidade de esferas com a função de se contrapor ao movimento daquelas responsáveis pelo deslocamento dos planetas, impedindo-as de interferir no movimento de esferas que conduziam os corpos celestes vizinhos. Para Aristóteles, a quantidade de “esferas contrárias” seria uma unidade menor do que o número de esferas de cada grupo. Assim, como Saturno e Júpiter possuíam quatro esferas cada, cada um deles teria três “esferas contrárias” (totalizando seis); e os próximos quatro planetas (Marte, Vênus, Mercúrio e Sol), que possuíam cinco esferas cada, passariam a ter quatro “esferas contrárias” (no total de dezesseis). Entretanto, a Lua permaneceria apenas com suas cinco esferas, sem o acréscimo de nenhuma esfera contrária.

Em suma, Aristóteles conservou o modelo astronômico de Calipo, composto por trinta e três esferas moventes, apenas introduzindo vinte e duas “esferas contrárias”, perfazendo então cinquenta e cinco esferas. Todavia, ele não menciona a esfera das estrelas fixas nessa passagem da *Metafísica*, aspecto que faria com que o mundo supralunar fosse composto por cinquenta e seis esferas. Não obstante, alguns estudiosos apontam esse número como sendo o correto, sem deixar de destacar que o modelo astronômico aristotélico possuía suas limitações, apesar de representar um avanço quando comparado às tentativas anteriores de descrever o Cosmos:

Não há dúvida de que havia diversas lacunas nesse modelo, que ficou com 56 esferas no total. Contudo, Aristóteles chegava mais próximo de explicar o comportamento real dos astros mantendo os movimentos circulares e uniformes, isto é, como mandavam os ensinamentos de seu mestre Platão, “salvando os fenômenos” [...], [algo que] consiste em propor explicações que deem conta do que acontece, tentando conciliar os sentidos com a teoria (CHERMAN; MENDONÇA, 2010, p. 33).

Uma das imprecisões do modelo do Estagirita dizia respeito à sua incapacidade em descrever alguns fenômenos, nomeadamente os referentes à luminosidade dos planetas, dado que o mecanismo de esferas rígidas não se adequava às oscilações regulares no brilho aparente desses corpos celestes. Note-se que essa falha não estava presente apenas no modelo de Aristóteles, mas também nos dos seus antecessores, ou

seja, em todas as concepções cosmológicas baseadas em uma estrutura de esferas rígidas. Sobre isso, aponta McFadden:

O número de esferas celestes pulou para 56. Ainda assim, restava um problema. Nenhuma quantidade de esferas rígidas em rotação podia acomodar outra característica do movimento planetário: a oscilação regular na luminosidade dos planetas. Para manter a iluminação constante, teriam que se aproximar e se afastar da Terra. Como poderiam executar essa manobra na superfície de uma esfera rígida? (MCFADDEN, 2022, p. 35).

Evidentemente, um modelo em que cada planeta estava preso à órbita de uma esfera fixa implicava necessariamente que a distância entre esse planeta e o centro (a Terra) seria sempre a mesma, independentemente da posição em que tal corpo celeste se encontrasse em sua esfera. Ou seja, tratava-se de um modelo que não poderia comportar aproximações e afastamentos da esfera da Terra⁶², como explicitou a passagem acima. Ademais, a proposta de Aristóteles também não conseguia oferecer uma explicação para fenômenos como a variação no “diâmetro aparente da Lua, e [dar conta] do fato de que os eclipses solares são algumas vezes totais e outras vezes anulares” (ÉVORA, 1993, p. 43).

1.11 O movimento do céu

Em relação ao movimento no mundo supralunar, e considerando que tanto os astros quanto o céu mudam de posição, Aristóteles questionou-se sobre se ambos estariam em repouso, em movimento, ou se um ou uns estariam em repouso e o(s) outro(s) em movimento. De imediato, o Estagirita rejeita a primeira hipótese, julgando-a impossível, pois o repouso dos astros e do céu implicaria que a Terra também estaria em repouso, algo que impossibilitaria a existência dos fenômenos. Em outras palavras, algo precisa estar em movimento (seja os astros ou o céu) para possibilitar a ocorrência dos fenômenos. Diz o filósofo:

O repouso de ambos é impossível porque se a Terra estivesse em repouso não ocorreria a produção dos fenômenos. E nossa hipótese é a do repouso da Terra. Permanecemos com o seguinte: ou ambos se

⁶² Os sistemas que propunham a existência de esferas homocêntricas, como o de Aristóteles, “supunham que a distância entre cada corpo celeste e a Terra era invariável. Assim sendo, todos os fenômenos celestes deveriam ser explicados simplesmente por meio das rotações das diversas esferas” (ÉVORA, 1993, p. 43).

movem, ou um deles se move, ao passo que o outro está em repouso (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 289b5).

Nessa passagem, constante no Livro II, Capítulo 8 do *De caelo*, Aristóteles já admite a tese de que a Terra estaria em repouso, mas antes de se ocupar com essa questão, dedica-se a refutar a segunda hipótese, de que tanto os astros quanto o céu estariam em movimento. O filósofo também descarta essa possibilidade, já que aceitá-la significaria admitir que tanto as esferas quanto os corpos celestes mover-se-iam com velocidade idêntica, implicando assim em uma proporção entre os dois movimentos. Mais especificamente, o astro realizaria sua *revolução* (movimento em torno de sua respectiva esfera, retornando ao ponto de partida) ao mesmo tempo em que sua esfera realizou sua *rotação*, ou seja, o movimento em torno de sua própria circunferência. Todavia, o Estagirita considera improvável que exista uma proporção entre a velocidade dos corpos e o tamanho das esferas:

Se ambos [os astros e o céu] se movem, topamos com o *irracional*, a saber, as velocidades dos astros e dos círculos revelam-se idênticas, posto que cada astro, nesse caso, igualaria em velocidade o círculo no qual se move, visto que podem ser observados ao retornar ao mesmo lugar concomitantemente aos círculos. Isso nos leva a concluir que é num único e mesmo momento que o astro atravessou o círculo e este completou sua própria revolução, tendo feito o percurso de sua própria circunferência. Não é, porém, razoável conceber que há uma proporção entre a velocidade dos astros e a magnitude de seus círculos. Não é absurdo, mas necessário, que as velocidades dos círculos sejam proporcionais às suas magnitudes. Mas que cada astro neles apresente a mesma proporção não é de modo algum razoável (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 289b8-16, grifo do tradutor).

Ato contínuo, Aristóteles conclui pela plausibilidade da hipótese do movimento das esferas e repouso dos astros. Ou seja, planetas e estrelas fixas não teriam movimento próprio, de modo que suas mudanças de lugar seriam causadas pelo deslocamento de suas respectivas esferas⁶³. Diz o Estagirita:

⁶³ Sobre isso, comenta Dreyer: “Voltando-se para os movimentos dos corpos celestes, Aristóteles considera primeiro se as estrelas e suas esferas estão simultaneamente em movimento, e chega à conclusão de que não é razoável pensar que cada estrela deveria viajar ao longo e precisamente à mesma velocidade como a sua esfera se ambas fossem separadas entre si, o que elas teriam de fazer é ‘parecer que elas e suas esferas aparecem novamente juntas no mesmo ponto’. Portanto, as estrelas estão em repouso em suas esferas, e apenas as últimas estão em movimento” (DREYER, 1953, p. 110). No original: “Turning to the motions of the heavenly bodies Aristotle first considers whether both the stars and their spheres are in motion, and he comes to the conclusion that it is unreasonable to think that each star should travel along with precisely the same velocity as its sphere if both were detached from each other, which they would have to do ‘as it appears that they and their spheres appear again together at the same point’. Therefore the stars are at rest in their spheres, and only the latter are in motion”.

Sendo assim, como então nem o movimento de ambos [do céu e dos astros] nem aquele dos astros isoladamente revelam-se razoáveis, só nos resta concluir pelo movimento dos círculos e o repouso dos astros que, não possuindo movimento próprio, são movidos com os círculos nos quais estão fixamente instalados. É a única forma de não acarretar o *irracional* (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 289b30-34, grifo do tradutor).

1.12 A Terra estacionária

Aristóteles investiga de maneira mais pormenorizada sobre se a Terra estaria em repouso ou movimento a partir do Livro II, Capítulo 13 do *De caelo*, tendo indicado anteriormente sua preferência pela primeira hipótese⁶⁴. No decorrer do supracitado capítulo, o Estagirita elenca as opiniões de alguns pré-socráticos acerca do assunto, comentando-as em seguida. Apenas no capítulo seguinte, o último do Livro II, que Aristóteles expôs a sua concepção, defendendo que a Terra está em repouso. Contudo, ele se preocupa em atestar a falsidade da visão defendida por outros pensadores, a de que a Terra localizar-se-ia no centro do Universo e teria um movimento de rotação, argumentando que qualquer movimento realizado pela Terra seria antinatural:

Conforme já afirmamos, alguns fazem dela [da Terra] um dos astros, enquanto outros a colocam no centro [do Universo] a oscilar e mover-se em torno de seu eixo mediano. A impossibilidade dessas concepções se patenteará uma vez que partamos do princípio de que o movimento dela [...] é necessariamente um movimento imposto. Não é um movimento da própria Terra; se assim fosse, cada uma de suas partes seria detentora de idêntico movimento, quando na realidade o movimento delas é invariavelmente centrípeto em linha reta. Ora, sendo o movimento dela imposto e não-natural, não pode ser eterno. Contudo, *a ordem do mundo é eterna* (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 296a25-35, grifos do tradutor).

Para Aristóteles, o movimento circular da Terra implicaria o movimento idêntico de suas partes, contrariando um princípio basilar de sua dinâmica, de que o movimento descendente (e, portanto, retilíneo) é natural para o elemento terra⁶⁵, cujo movimento antinatural seria o ascendente. Assim, nenhum corpo composto pelo elemento terra (parte) poderia se deslocar circularmente como a Terra (todo); e Aristóteles não parece

⁶⁴ ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 289b5. Citação expressa na página 43 deste trabalho.

⁶⁵ *Ibid*, p. 46, 269a18.

admitir que a parte e o todo possuam deslocamentos naturais diversos⁶⁶. Além disso, o movimento da Terra não poderia ser ao mesmo tempo circular e não-natural, devido à “impossibilidade de haver um movimento contrário ao movimento circular no espaço” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 270a20).

Ademais, o movimento antinatural da Terra exigiria que um motor externo estivesse continuamente em contato com ela, já que a filosofia aristotélica não aceita que algo à distância cause movimento violento⁶⁷. Para garantir que o movimento da Terra não cessasse, tal força deveria durar um tempo infinito, e ser ela mesma algo infinito. Todavia, o Estagirita diz no Livro VIII da *Física* que “é impossível para um motor limitado causar um movimento⁶⁸ durante um tempo infinito”⁶⁹ (ARISTOTLE, *Physics*, 1934, 266a12-13), somando-se a isso que “uma força infinita não pode residir em uma magnitude finita” (ÉVORA, 1993, p. 42), ou seja, o Universo finito aristotélico não poderia comportar algo maior do que si mesmo. Sendo assim, o movimento antinatural da Terra seria inconcebível.

Após atestar que a Terra não possuiria trajetória não-natural, o Estagirita considera a hipótese de que ela se mova naturalmente para o centro do Universo, dado que os corpos que a compõem, cujo elemento preponderante é a terra, deslocam-se por natureza nessa direção. Afinal, como tais corpos são pesados, eles devem executar um movimento oposto àquele empreendido pelos corpos leves, como o fogo, que se direciona à extremidade da região sublunar, mais afastada do centro. Aceitando que as partes constituintes da Terra realizam um movimento descendente visando ao centro do Universo, Aristóteles conclui que tal movimento também se dá em direção ao centro da própria Terra, já que a sua esfera e a do Universo são concêntricas. Diz o filósofo:

Que se acresça que seu movimento natural – de suas partes e como um todo – é *na direção do centro do universo*, daí sua posição agora efetivamente no centro. Visto que há coincidência do centro de ambos, poder-se-ia indagar em que condição o movimento segundo a natureza

⁶⁶ De fato, ele indica em um ponto mais a frente “que é próprio da natureza do todo situar-se no lugar natural de destinação da parte” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 296b34-35).

⁶⁷ KOYRÉ, 1986, p. 26.

⁶⁸ No original em grego, κινεῖν (ARISTOTLE, *Physics*, 1934, 266a13).

⁶⁹ Na tradução consultada: “It is impossible for a limited motor to cause a motion during an infinite time”.

das partes da Terra e dos [corpos] pesados dirige-se a ele, ou seja, na qualidade de centro do universo ou naquela de centro da Terra. Necessariamente é rumo ao centro do universo, a julgar pelo fato de que os [corpos] leves e o fogo, que se movem em oposição aos [corpos] pesados, dirigem-se para o extremo da região circundante do centro. Acontece, porém, de um mesmo centro ser da Terra e do universo; de fato, os [corpos] pesados realmente dirigem-se também para o centro da Terra, ainda que incidentalmente, considerando-se que ela possui seu centro no centro do universo (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 296b7-17, grifos do tradutor).

Na concepção aristotélica, os corpos pesados cujo lugar natural é a Terra dirigem-se ao seu centro porque além de compartilharem com o hipotético movimento da Terra a direção vertical e o sentido descendente, seus movimentos não seriam paralelos ao da Terra, mas descreveriam o mesmo ângulo que esta. Ou seja, tanto o deslocamento da Terra quanto o de um corpo em queda poderiam ser representados por meio da mesma reta, já que ambos ocupariam as mesmas posições no espaço. Isso parece sugerir que tais movimentos seriam indiscerníveis, de modo que um observador na superfície perceberia somente o movimento do corpo, enquanto um observador fora da Terra notaria unicamente o movimento desta, como se os objetos ao seu redor estivessem estáticos, quando na verdade estariam executando um movimento idêntico ao da Terra.

Contudo, Aristóteles defendeu apenas o deslocamento dos corpos, sendo interessante notar que se também tivesse assumido a existência do deslocamento terrestre, acabaria sugerindo a relatividade do movimento, ou seja, que a percepção deste dependeria de um referencial. Ao invés disso, o Estagirita recorre ao fato de que se todos os corpos em queda visam o mesmo lugar natural, o centro do Universo, *que também é o centro da Terra*, então esta permanece imóvel. Ademais, ele diz que os corpos arremessados (projéteis) sempre retornam ao ponto de partida, algo que em sua visão corrobora a tese de uma Terra estacionária:

O fato de [os corpos] se dirigirem também rumo ao centro da Terra é indicado pelo fato de os [corpos] pesados que têm a Terra como direção não executarem seu movimento de maneira paralela, mas compondo os mesmos ângulos com ela. A conclusão é que se dirigem a um centro comum, que é, inclusive, o da Terra. Daí ficar claro que a posição da Terra é necessariamente no centro e imóvel. A favor disso atestam não só as razões já apresentadas, como inclusive o fato de que os [corpos] leves, na hipótese de serem arremessados mediante força para cima numa linha reta, descem de volta ao seu ponto de partida, mesmo que a força arremessadora os projetasse infinitamente longe (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 296b18-26).

Ou seja, a queda dos corpos em um mesmo ponto configura-se como suficiente para a defesa aristotélica de que a Terra permanece estática no centro do Universo, não impedindo o filósofo de sugerir que, se a Terra se movesse, os corpos arremessados não retornariam aos seus respectivos pontos de partida. Esse argumento adicional desfrutou de enorme prestígio durante os séculos seguintes, sendo visto como evidência incontestável da imobilidade da Terra.

1.13 Queda dos graves

Aristóteles analisa no Livro IV do *De caelo* a questão acerca da *queda dos graves*, ou seja, dos corpos pesados. Porém, é importante ressaltar que a palavra “graves” não integra a terminologia aristotélica original⁷⁰, tendo surgido durante a Idade Média, quando tratados científicos, nomeadamente em árabe, foram traduzidos para o latim. Isso porque, “ao se referir a objetos de grande peso, as traduções latinas usavam a palavra cuja raiz é o adjetivo *gravis*, grave, que significa ‘pesado’” (CHERMAN; MENDONÇA, 2010, p. 55). Contudo, não se conhece o momento exato em que o termo passou a ser utilizado, conforme pontuam os pesquisadores:

Não é possível precisar a primeira vez que esse termo foi empregado. Além disso, na língua latina é comum encontrarmos declinações de uma mesma palavra dependendo de alguns fatores, como sua classe gramatical, por exemplo, mantendo-se apenas seu radical. Por isso, às vezes, pode-se encontrar os termos *gravius*, *gravitas* ou algum outro com a raiz *grav-* em uma frase cujo assunto é o peso (*ibid.*, p. 55).

Ou seja, sabe-se apenas que a utilização do termo “graves” para se referir a corpos que, na época, eram ditos “pesados”, ocorreu devido à circulação das traduções latinas nos ambientes intelectuais. Ainda segundo os autores, tal processo foi fortalecido “com o surgimento das primeiras universidades na Europa a partir do século XI, visto que o latim era o idioma corrente nas universidades de Bolonha, Paris, Oxford, entre outras, que utilizaram a maioria daquelas obras traduzidas” (*ibid.*, p. 55).

⁷⁰ Ao se referir aos corpos pesados, Aristóteles usa a palavra βαρὺ (ARISTOTELIS, *De caelo*, 1936, 307b31).

Por sua vez, Aristóteles inicia sua análise dizendo que “quando classificamos algo de pesado ou leve, o fazemos em função de sua potência para um movimento⁷¹ natural” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 307b32). Em outras palavras, os atributos de “peso” ou “leveza” são dados mediante o sentido do movimento natural (ascendente ou descendente) de um corpo visando o repouso, ou seja, se o corpo é constituído por terra ou água, ele possui peso, e caso seja composto por ar ou fogo, seria dotado de leveza⁷². Em resumo, peso e leveza seriam grandezas *absolutas*. Sobre isso, Cherman & Mendonça sublinham:

Uma coisa importante e que merece registro é que na visão de Aristóteles um elemento que tivesse leveza como qualidade não era menos pesado, por exemplo, que a terra. Esse elemento seria leve de forma absoluta! [...] Peso e leveza eram “propriedades gêmeas” que influenciavam como os objetos se movem. E a velocidade do movimento dependia da quantidade dessas qualidades: quanto mais peso, mais veloz a queda, e quanto mais leveza, mais veloz a subida, ou seja, a conclusão que chegamos é que, para Aristóteles, corpos mais pesados caem mais rapidamente que os menos pesados (CHERMAN; MENDONÇA, 2010, p. 38).

Contudo, apesar de o Estagirita ressaltar o caráter absoluto do peso e da leveza, ele também admite que tais propriedades podem ser relativas, ou seja, que a afirmação de que um corpo é leve ou pesado é dada pela comparação com outro corpo. Segundo o filósofo, essa foi a abordagem adotada pelos pensadores precedentes, que se abstiveram de conceituar os termos. Diz Aristóteles:

Dizemos pesado e leve quer *absolutamente* quer *relativamente*. De coisas que possuem peso declaramos ser uma mais leve, enquanto a outra é mais pesada; por exemplo, a madeira em relação ao bronze. Nada disseram os nossos antecessores do sentido absoluto, tendo eles se ocupado apenas do sentido relativo. Nada dizem sobre o que são o pesado e o leve, embora se refiram àquilo que é mais pesado e àquilo que é mais leve, ao tratarem das coisas que possuem peso (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 308a9-13, grifos do tradutor).

Todavia, a relatividade desses termos não significava que corpos pesados pudessem ser comparados com os leves, mas sim que a comparação se dava exclusivamente entre corpos dotados da mesma característica. A implicação disso é que

⁷¹ No original, em grego, κινεῖσθαι (ARISTOTLE, *On the Heavens*, 1939, 307b32).

⁷² Segundo Aristóteles, “com *absolutamente leve* queremos dizer aquilo cujo movimento é ascendente (para cima) e na direção do extremo; com *absolutamente pesado* aquilo cujo movimento é descendente (para baixo) e na direção do centro” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 308a28-30, grifos do tradutor).

um corpo seria pesado ou leve, independentemente de quaisquer outros corpos com os quais pudesse ser comparado. Desse modo, um corpo composto por um elemento cujo movimento natural seja descendente (terra ou água) não poderia ser comparado com um dotado de movimento ascendente (ar ou fogo), já que enquanto um se dirige ao centro da Terra, o outro se dirige à camada extrema do mundo sublunar.

Ademais, na filosofia aristotélica, peso (no sentido de *massa*, ou seja, de quantidade de matéria de um corpo)⁷³ e velocidade estão estritamente relacionados, sendo a última determinada pelo primeiro. Todavia, o peso em nada influía no sentido do movimento natural⁷⁴, determinado exclusivamente pelo tipo de elemento primordial (terra, água, ar, fogo) que compunha o corpo em caráter majoritário ou integral. Acerca da relação entre peso e velocidade, Crombie pontua que Aristóteles “sustentou que, em um dado meio, corpos de vários materiais, mas de mesma forma e tamanho, caíam com velocidades proporcionais aos seus diversos pesos”⁷⁵ (CROMBIE, 1961, p. 49). De fato, o Estagirita diz que corpos leves e corpos “mais leves”, no sentido usual do termo (ou seja, corpos dotados de mais ou menos peso, constituídos pelos elementos pesados terra e/ou água; e não detentores da propriedade “leveza”) caem com velocidades diferentes:

Quanto a leve e mais leve no sentido relativo, queremos dizer, no tocante a dois [corpos] de igual volume dotados de peso, aquele que, em relação ao outro, move-se naturalmente com maior velocidade para baixo (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 308a30-33).

Cumprе ressaltar que Aristóteles não se limitou a defender a relação entre peso e velocidade, mas também buscou mensurar essa última. O filósofo tratou dessa questão no Capítulo 8 do Livro IV da *Física*, dedicado à refutação do vazio, quando se dispôs a analisar as maneiras pelas quais um corpo poderia se deslocar mais rapidamente do que outro. De acordo com o autor, corpos com o mesmo peso podem se mover de maneira

⁷³ Deve-se atentar ao fato de que “‘massa’ e ‘gravidade’ ainda não eram termos correntes nesse período, e ‘peso’, dependendo do contexto, era a palavra usada para se referir ao que mais se aproximou do conceito de gravidade” (CHERMAN; MENDONÇA, 2010, p. 34).

⁷⁴ Para Aristóteles, o peso não era uma força física, “mas sim uma qualidade dos objetos, e sendo assim, não contribuía (pelo menos fisicamente) com o movimento natural dos corpos” (*ibid.*, p. 34).

⁷⁵ No original: “held that in a given medium bodies of various materials but of the same shape and size fell with velocities proportional to their various weights”.

distinta a depender do meio pelo qual se deslocam, ou devido a uma diferença em seus próprios deslocamentos, no que concerne à gravidade ou leveza⁷⁶.

Na concepção aristotélica, quanto mais fácil o corpo consegue atravessar o meio, mais rápido se move. É por essa razão que dois corpos com o mesmo peso (no sentido aristotélico, ou seja, como quantidade de matéria) têm velocidades diferentes ao se deslocarem através de meios diversos. Assim, um corpo sobre a água movimentar-se-á com maior facilidade do que outro sobre a terra, alcançando maior velocidade, mesmo que ambos possuam o mesmo peso. Analogamente, um móvel a se deslocar pelo ar será mais veloz do que outro sobre a água, pois esta última é um corpo mais difícil de ser atravessado. Em outras palavras, o meio atua como *resistência* ao movimento do objeto, consequentemente reduzindo a velocidade deste. Sobre esse aspecto, pontua Aristóteles:

[...] o meio através do qual o objeto está se movendo faz a diferença para impedir o objeto. Ele faz isso especialmente se o objeto está se movendo em direção oposta, mas também se ele está imóvel. A *resistência* é maior se o meio não é fácil de dividir, ou seja, se o meio é mais denso⁷⁷ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 215a29-31, grifo meu).

O trecho acima expressa uma importante característica da concepção aristotélica de velocidade, a saber, que *velocidade e resistência são inversamente proporcionais*⁷⁸: quanto mais denso o meio, menor a velocidade do corpo. Ademais, ao se comparar o deslocamento de um corpo através de dois meios distintos, mas com mesma extensão; e considerando as duas velocidades proporcionais, também seria possível perceber que o tempo despendido pelo objeto em cada ambiente é inversamente proporcional à velocidade. Afinal, se B e D possuem a mesma extensão, e um corpo A se desloca duas vezes mais rápido através de D do que em B, segue-se que o tempo gasto para percorrer

⁷⁶ Nas palavras de Aristóteles: “Vemos que a velocidade de um peso ou massa em movimento depende de duas condições: (1) a natureza distinta do meio – água, terra, ou ar – através do qual o movimento ocorre, e (2) a comparação da gravidade ou leveza do próprio corpo movente, sendo iguais outras condições” (ARISTOTLE, *Physics*, 1929, 215a25-28). Na tradução consultada: “We see that the velocity of a moving weight or mass depends on two conditions: (1) the distinctive nature of the medium – water, earth, or air – through which the motion occurs, and (2) the comparative gravity or levity of the moving body itself, other conditions being equal”.

⁷⁷ Na tradução consultada: “the medium through which the object is moving makes a difference by impeding the object. It does so especially if it is moving in the opposite direction, but also if it is still. The resistance is greater if the medium is not easy to divide, which is to say, if the medium is denser”.

⁷⁸ Conforme explica Évora, trata-se da ideia de que “a velocidade (v) de um corpo que se move em uma dada distância é proporcional à razão entre a força motriz (F) em contato direto com o corpo móvel, e a resistência ou densidade do meio (R) ou, numa notação moderna: $v = F / R$ ” (ÉVORA, 1993, p. 84-85).

D é duas vezes menor do que o necessário para percorrer B. Tal exemplo é do próprio Aristóteles, que diz:

Um objeto A se moverá através de B no tempo C, mas através do meio menos denso D no tempo E (assumindo que B e D são iguais em extensão), e os tempos serão proporcionais à resistência exercida pelo corpo impeditivo. Seja B água e D ar; na proporção como o ar é menos denso e menos material do que a água, A se moverá assim muito mais rápido através de D do que ele o faz através de B. Deixe que as velocidades tenham a mesma razão entre si, então, na medida da densidade do ar para a densidade da água, para que se o ar for duas vezes mais refinado, A levará o dobro do tempo para atravessar B do que ele o faz para atravessar D, ou em outras palavras o tempo C será o dobro do tempo E. E será sempre o caso que, na proporção como o meio for menos material, menos impeditivo, e mais fácil de dividir, A se moverá muito mais rápido⁷⁹ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 215a31-215b11).

Ademais, não é apenas a densidade ou resistência do meio que influi na velocidade do corpo, provocando sua diminuição. De acordo com o Estagirita, a velocidade de um objeto é diretamente proporcional à força que atua externamente sobre ele, ou seja, depende da intensidade do impulso. Em suas palavras, “é um fato da experiência que quanto maior o impulso de peso ou leveza as coisas têm, mais rápido (sendo as outras coisas iguais) elas completam um determinado trajeto, de acordo com a proporção que as magnitudes têm em relação à outra”⁸⁰ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 216a13-17). Assim, conclui-se que *velocidade e força são diretamente proporcionais*⁸¹.

Contudo, a velocidade do corpo não é definida unicamente por essa força motriz, sendo também influenciada pela forma do objeto em movimento. Aristóteles explica que “quanto maior o objeto, mais rápido ele atravessa o meio com sua força, uma vez

⁷⁹ Na tradução consultada: “An object A will move through B in time C, but through the less dense medium D in time E (assuming that B and D are equal in extent), and the times will be proportionate to the resistance exerted by the impeding body. Let B be water and D air; in proportion as air is less dense and less material than water, A will move this much faster through D than it does through B. Let the speeds have the same ratio to each other, then, as the density of air does to the density of water, so that if air is twice as refined, A will take twice as long to traverse B as it does to traverse D, or in other words the time C will be double the time E. And it will always be the case that in proportion as the medium is less material, less impeding, and easier to divide, A will move that much faster”.

⁸⁰ Na tradução consultada: “is a fact of experience that the greater the impulse of weight or lightness things have, the faster (other things being equal) they complete a given journey, in accordance with the ratio the magnitudes have to one another”.

⁸¹ Evidencia-se, portanto, a colocação de Crombie (1961, p. 48), citada no tópico introdutório deste Capítulo (p. 17, nota de rodapé nº 6), de que a velocidade é diretamente proporcional à força, e inversamente proporcional à resistência exercida pelo meio.

que o objeto em movimento ou projetado atravessa [o meio] ou com seu formato ou com seu impulso”⁸² (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 216a18-20). Embora essa passagem faça referência ao tamanho dos objetos, e não à massa (peso) que eles possuem, podemos interpretar que corpos maiores são, em regra, mais “pesados”, devido à maior facilidade que possuem em cindir o meio que atravessam, em comparação com objetos menores. Isso fica claro quando os objetos comparados possuem constituição material idêntica, já que um maior será necessariamente “mais pesado”, o que nem sempre ocorreria no caso de objetos do mesmo tamanho, igualmente compostos pelo elemento “terra”, mas de diferentes materiais. No caso da queda de um pedaço de madeira e outro de metal de tamanhos idênticos, o último chegaria primeiro ao solo, dado que, para Aristóteles, “em um mesmo meio, objetos mais pesados caem mais depressa do que objetos mais leves”⁸³ (BOSTOCK, *in* ARISTOTLE, 1996, p. xli-xlii).

Sendo assim, Aristóteles entende a velocidade como sendo o quociente da força ou peso pela densidade ou resistência do meio em que o movimento ocorre. Contudo, a quantificação dessa grandeza não se dá mediante valores numéricos como na física clássica, mas sim considerando-se a relação entre as três grandezas envolvidas, ou seja, tratava-se de uma “regra de proporção” (CHERMAN; MENDONÇA, 2010, p. 38). Em outras palavras, a “queda dos graves” (entendidos como sendo os corpos constituídos pelos elementos terra e/ou água) é dada por essa relação entre força e resistência e, com isso, também se nega a existência do vazio, já que nele não haveria resistência. A relação entre tais ideias é explicitada por Crombie:

A ‘lei’ de Aristóteles⁸⁴ expressa sua crença de que qualquer aumento de velocidade em um determinado meio poderia ser produzido apenas por um aumento da força motriz. Também se segue da ‘lei’ que no vazio os corpos cairiam com velocidade instantânea; como ele considerou essa conclusão como absurda, ele usou-a como um argumento contra a possibilidade do vazio⁸⁵ (CROMBIE, 1961, p. 48-49).

⁸² Na tradução consultada: “the greater the object the faster it cuts through the medium with its strength, since the moving or projected object cuts through either with its shape or with its impulse”.

⁸³ No original: “in the same medium, heavier objects fall faster than lighter ones”.

⁸⁴ Ou seja, a ideia de que a velocidade é diretamente proporcional à força motriz e inversamente proporcional à resistência do meio.

⁸⁵ No original: “Aristotle’s ‘law’ expressed his belief that any increase in velocity in a given medium could be produced only by an increase in motive power. It also followed from the ‘law’ that in a void bodies would fall with instantaneous velocity; as he regarded this conclusion as absurd he used it as an argument against the possibility of a void”.

Aristóteles defende que quanto maior um objeto (ou seja, mais pesado), mais rápido ele consegue atravessar o meio devido à sua força, e em decorrência disso, “no vazio, tudo se deslocará com a mesma velocidade, o que é impossível”⁸⁶ (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 216a20). Ao explicar a noção aristotélica de velocidade, David Bostock comenta:

Ele [Aristóteles] então argumenta finalmente que, como o vazio tem densidade zero, isso significa que a velocidade no vazio deve ser infinita, o que ele [Aristóteles] racionalmente rejeita como impossível. Mas então, para a nossa surpresa, em 216a11-21 ele comenta que a razão pela qual objetos mais pesados caem mais rapidamente em um mesmo meio é que eles superam mais facilmente sua resistência, e então ele chega ao que é realmente o resultado correto, que em um vazio, onde não existe resistência a ser superada, todos os objetos cairão a uma mesma velocidade⁸⁷ (BOSTOCK, *in* ARISTOTLE, 1996, p. xlii).

De fato, a variação de velocidade seria impossível no vazio: todos os corpos cairiam com a mesma velocidade, que seria infinita. Trata-se, talvez, do argumento mais incisivo contra a existência do vazio, pois é impossível conceber uma velocidade instantânea, já que o corpo teria de estar em dois lugares no mesmo instante, devido à inexistência do tempo de deslocamento.

1.14 A natureza do tempo

Na sequência de sua explanação sobre o vazio, que culminou com observações referentes à queda dos graves, Aristóteles empreendeu uma discussão acerca da natureza do tempo, caracterizando-o como um indicador da existência de mudança, ou mais exatamente como a quantificação desta. Segundo o filósofo, a mudança pressupõe um “antes” e um “depois” distintos entre si, além de um intermediário entre ambos, que também é diferente deles. A presença desse meio-termo entre os dois extremos da mudança é condição necessária para que se possa considerar o tempo como algo real, já que este consiste no período existente entre dois momentos:

⁸⁶ Na tradução consultada: “in a void everything will travel at the same speed, which is impossible”.

⁸⁷ No original: “He then argues at length that, since a void has zero density, this implies that velocity in a void must be infinite, which he reasonably rejects as impossible. But then, to one’s surprise, at 216a11-21 he comments that the reason why heavier objects fall faster in the same medium is that they more easily overcome its resistance, and so he reaches what is actually the correct result, that in a void, where there is no resistance to be overcome, all objects will fall at the same speed”.

[...] quando determinamos um movimento⁸⁸ por definir seu limite inicial e final, também reconhecemos um lapso de tempo; porque é quando estamos cientes da medição de movimento⁸⁹ por um limite anterior e posterior que podemos dizer que o tempo passou. E nossa determinação consiste em distinguir entre o limite inicial e o limite final, e ver que o que se encontra entre eles é distinto de ambos; pois quando distinguimos entre os extremos e o que está entre eles, e a mente pronuncia os “agoras” como dois – um inicial e um final – é então que dizemos que certo tempo passou; pois aquilo que é determinado de qualquer forma por um “agora” parece ser o que entendemos por tempo. E que isso seja aceito e estabelecido. Assim, quando percebemos um “agora” isoladamente, isto é, não como um dos dois, um agora inicial e um final no movimento⁹⁰, nem ainda como sendo um “agora” final de um período e, ao mesmo tempo, o “agora” inicial de um período subsequente, então nenhum tempo parece ter decorrido, pois não houve qualquer movimento⁹¹ correspondente. Mas quando percebemos um antes e um depois distintos, então falamos de tempo; pois isso é exatamente o que o tempo é, *a medida ou dimensão calculável do movimento*⁹² *com respeito ao antes e ao depois*⁹³ (ARISTOTLE, *Physics*, 1929, 219a22-219b2, grifos meus).

Ou seja, *o movimento é a medida do tempo*, a única forma pela qual este pode ser detectado. Se nenhuma transformação ocorrer, ou não for percebida, não se pode afirmar a existência do tempo. Aristóteles revela-se bastante sutil nesse ponto, dado que não afirma categoricamente que o tempo não passou caso não haja movimento, mas que ele “não parece ter passado”, já que o fato de o observador não ter percebido o movimento não é condição suficiente para garantir que este não ocorreu. Segue-se disso a sua concepção de *tempo como uma característica do movimento*, que o torna mensurável:

⁸⁸ No original em grego, κίνησιν (219a23).

⁸⁹ No original em grego, κινήσει (219a25).

⁹⁰ No original em grego, κινήσει (219a31).

⁹¹ No original em grego, κίνησις (219a33).

⁹² No original em grego, κινήσεως (219b2).

⁹³ Na tradução consultada: “when we determine a movement by defining its first and last limit, we also recognize a lapse of time; for it is when we are aware of the measuring of motion by a prior and posterior limit that we may say time has passed. And our determination consists in distinguishing between the initial limit and the final one, and seeing that what lies between them is distinct from both; for when we distinguish between the extremes and what is between them, and the mind pronounces the 'nows' to be two - an initial and a final one - it is then that we say that a certain time has passed; for that which is determined either way by a 'now' seems to be what we mean by time. And let this be accepted and laid down. Accordingly, when we perceive a 'now' in isolation, that is to say not as one of two, an initial and a final one in the motion, nor yet as being a final 'now' of one period and at the same time the initial 'now' of a succeeding period, then no time seems to have elapsed, for neither has there been any corresponding motion. But when we perceive a distinct before and after, then we speak of time; for this is just what time is, the calculable measure or dimension of motion with respect to before-and-afterness”.

Tempo, então, não é movimento⁹⁴, mas aquilo pelo qual o movimento⁹⁵ pode ser estimado numericamente. Para ver isso, reflita que estimamos qualquer tipo de mais-e-menos por meio de números; portanto, uma vez que estimamos todo mais ou menos em alguma escala numérica e estimamos o mais-ou-menos do movimento⁹⁶ pelo tempo, o tempo é uma escala em que algo [...] pode ser estimado numericamente. Mas agora, como “número” tem dois significados (pois falamos dos “números” que são contados na coisa em questão, e dos “números” pelos quais os contamos e em que calculamos), vamos notar que o tempo é a coisa contável que estamos contando, não os números nos quais contamos - duas coisas que são diferentes⁹⁷ (ARISTOTLE, *Physics*, 1929, 219b2-219b9).

Em outras palavras, o tempo não é um número no sentido de um algarismo que quantifica o movimento, ou seja, algo abstrato; mas consiste em um número de transformações reais, de eventos numeráveis.

1.15 Salvando os fenômenos

A crença de que objetos de maior massa atingem o solo antes daqueles “menos pesados” estava perfeitamente de acordo com a percepção visual da queda dos corpos. Ao atrelar suas explicações à observação dos fenômenos físicos, Aristóteles buscou *salvar os fenômenos*, preocupação que norteou toda a sua análise da natureza, tanto em relação ao mundo sublunar quanto ao mundo supralunar. O próprio Estagirita expressa a intenção de adequar as suas ideias com o mundo aparente em uma passagem do *De caelo* em que defende que a Terra está no centro do Universo, pontuando que isso é defendido por “matemáticos que discursam sobre astronomia, pois os fenômenos – as alterações das configurações responsáveis pela determinação da ordem dos astros – ajustam-se à hipótese” (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 297a3-5, grifos do tradutor). Nesse caso, Aristóteles não se baseia em uma observação pessoal, mas reconhece a validade da observação de terceiros para corroborar a hipótese da centralidade da Terra.

⁹⁴ No original em grego, κίνησις (219b2-3).

⁹⁵ No original em grego, κίνησις (219b3).

⁹⁶ No original em grego, κίνησιν (219b4).

⁹⁷ Na tradução consultada: “Time, then, is not movement, but that by which movement can be numerically estimated. To see this, reflect that we estimate any kind of more-and-lessness by number; so, since we estimate all more-or-lessness on some numerical scale and estimate the more-or-lessness of motion by time, time is a scale on which something [...] can be numerically estimated. But now, since “number” has two meanings (for we speak of the “numbers” that are counted in the thing in question, and also of the “numbers” by which we count them and in which we calculate), we are to note that time is the countable thing that we are counting, not the numbers we count in - which two things are different”.

Contudo, a forma como Aristóteles procurou obter conhecimentos sobre o mundo divergia do modo pelo qual a física clássica buscou fazê-lo. O exemplo mais evidente disso talvez seja a questão acerca da queda dos graves: enquanto o Estagirita defendia que tal movimento dependia do peso (massa) e da resistência do meio, baseado unicamente no raciocínio especulativo, Galileu demonstrou que tal crença é equivocada, defendendo que a queda dos corpos independe da massa caso se despreze a resistência do ar. Em outras palavras, corpos de massas diferentes podem atingir o chão ao mesmo tempo caso não sejam retidos pelo ar, e dessa forma o “peso” (massa) não era diretamente proporcional à velocidade, ao contrário do que dizia Aristóteles. Em seu livro *A Revolução Copernicana*, Thomas Kuhn analisa a abordagem aristotélica e a galileana a respeito da queda dos corpos, exemplificando bem a diferença metodológica entre a ciência antiga e a ciência moderna. Diz Kuhn:

No mundo de todos os dias, como Aristóteles viu, os corpos pesados caem mais depressa do que os leves. Essa é a percepção primitiva. A lei de Galileu é mais útil para a ciência do que a de Aristóteles, não porque represente mais perfeitamente a experiência, mas porque vai para além da regularidade superficial revelada pelos sentidos, até a um aspecto do movimento, mais essencial, embora escondido. Para verificar a lei de Galileu através da observação, é necessário equipamento especial; os sentidos apenas não negarão nem confirmarão. O próprio Galileu não obteve a lei a partir de observações, pelo menos de novas observações, mas de um encadeamento de argumentos lógicos (KUHN, 2002, p. 112).

Em seguida, o autor afirma que provavelmente Galileu não realizou a famosa demonstração de soltar dois corpos de massas distintas do alto da Torre de Pisa⁹⁸, mas o fato é que, conforme Kuhn, o método galileano ancorou-se em demonstrações lógicas, enquanto que Aristóteles interpretou o mundo sensível tal como este lhe apresentava aos sentidos, fazendo uma leitura da realidade que “salvava os fenômenos”, explicando de maneira bastante crível para um observador comum a razão pela qual este percebe um corpo “mais pesado” caindo mais rapidamente do que um “menos pesado”. O ponto é que a explicação galileana não é superior à aristotélica no que tange à descrição do comportamento aparente dos corpos, cuja queda, por si só, não confirma a tese galileana, embora pareça corroborar a de Aristóteles. Entretanto, o trabalho de Galileu se aprofunda na questão do movimento, no que subjaz a este, para explicar suas causas.

⁹⁸ Segundo Kuhn, tal experiência atribuída a Galileu “foi executada por um dos seus críticos e o resultado apoiou Aristóteles. O corpo mais pesado chegou primeiro ao solo” (KUHN, 2002, p. 112).

Em suma, Aristóteles descreve o fenômeno (observação), enquanto Galileu busca compreender as leis envolvidas no movimento, por meio de demonstrações matemáticas, que por vezes conduzem a resultados contraintuitivos, como o de que corpos de massas muito distintas teriam a mesma velocidade e chegariam juntos ao solo. Como se sabe, Aristóteles aceitava que caso não houvesse resistência do ar (vácuo), corpos com pesos (massas) diferentes teriam igual velocidade, e então deveriam cair ao mesmo tempo, mas considerava tal hipótese absurda, porque esta velocidade seria infinita, e deveria ser diretamente proporcional ao “peso” do objeto. Mas para a física clássica, a velocidade não seria infinita, e os dois corpos podem atingir o chão ao mesmo tempo independentemente de suas massas, caso a resistência do meio fosse nula.

Durante os séculos seguintes, vários autores preocuparam-se em fornecer explicações razoáveis para os fenômenos naturais, buscando cada vez mais exatidão em suas descrições da realidade. Em outras palavras, a tentativa de “salvar os fenômenos” conservou-se por bastante tempo, motivando inclusive a construção do modelo ptolomaico de mundo.

CAPÍTULO 2. A HERANÇA ARISTOTÉLICA NA CONSTRUÇÃO DAS CIÊNCIAS ANTIGA E MEDIEVAL

2.1 Os primeiros peripatéticos

Embora a filosofia natural de Aristóteles tenha se tornado ainda durante a Antiguidade a explicação de mundo mais aceita, suas ideias não eram unanimidade nem mesmo entre os primeiros filósofos peripatéticos. O Estagirita foi sucedido na direção do Liceu por seu discípulo Teofrasto (c. 370 - 286 a.C.) em 323 a. C.⁹⁹, que por sua vez foi substituído por Stráton, ou Estratão de Lâmpsaco, escolarca entre 286 e 268 a.C.¹⁰⁰, e em ambos já é possível identificar algum distanciamento em relação ao mestre: enquanto o primeiro deu à escola “uma orientação principalmente científica e descurou os temas mais propriamente metafísicos” (REALE; ANTISERI, 2007, p. 233), o outro foi responsável pelo “mais clamoroso ponto de ruptura com o aristotelismo” (*ibid.*, p. 233). Ainda sobre Teofrasto, Reale & Antiseri apontam que

“embora certamente estivesse à altura pela vastidão de seu conhecimento e pela originalidade de sua investigação no âmbito das ciências, não se mostrou à altura para compreender e, portanto, fazer os outros compreenderem o aspecto mais profundamente filosófico de Aristóteles” (*ibid.*, p. 233).

Durante a direção de Teofrasto, o Liceu teve uma atuação muito mais voltada para os estudos da natureza do que para as especulações filosóficas, algo que parece ter se aprofundado sob o comando de Estratão, caracterizado como “um homem muito insigne, conhecido geralmente como ‘Físico’, porque, mais que qualquer outro, se dedicou com extremo cuidado ao estudo da natureza” (LAËRTIOS, 2008, p. 142). De fato, Estratão empenhou-se em investigar o mundo natural, chegando a algumas conclusões opostas às de Aristóteles ao negar, por exemplo, a existência do quinto elemento aristotélico¹⁰¹ e, por outro lado, defender a possibilidade de um determinado

⁹⁹ Datas indicadas por Diógenes Laércio (LAËRTIOS, 2008, p. 137, nota 390).

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 142, nota 395.

¹⁰¹ Os argumentos de Estratão para eliminar o éter da natureza não foram conservados. Em seu texto *Cosmology*, David Furley diz: “O sucessor de Teofrasto, Estratão, eliminou o quinto elemento [...], mas os fragmentos sobreviventes não revelam seus argumentos para essa mudança” (FURLEY, 1999, p. 417). No original: “Theophrastus’ successor Strato did away with the fifth element [...] but the surviving fragments do not reveal his arguments for this shift”.

tipo de vazio. Ademais, Estratão também discordou de Aristóteles no que concerne à natureza do tempo, e ao defender que corpos caem mais depressa conforme se aproximam de seu lugar natural, o que consiste em uma clara antecipação da ideia de aceleração¹⁰².

A resignificação da ideia de tempo empreendida por Estratão contrapunha-se à concepção aristotélica de que o tempo consistia simplesmente no número do movimento, dado que o número representa apenas uma quantidade, enquanto o movimento e o tempo são contínuos, e por essa razão não podem ser numerados. Tal posicionamento encontra-se expresso no *Sobre a Física de Aristóteles*, de Simplicius:

Teofrasto e Eudemo [...], os colaboradores de Aristóteles, claramente mantiveram e ensinaram as mesmas opiniões concernentes ao tempo como Aristóteles. Mas Estratão de Lâmpsaco, encontrando falhas na definição de tempo dada por Aristóteles e seus colaboradores, embora fosse um discípulo de Teofrasto, que seguiu Aristóteles em quase tudo, seguiu por si mesmo um novo caminho. Pois ele não aceitava que o tempo é o número da mudança, porque o número é uma quantidade separada, mas mudança e tempo são contínuos, e o que é contínuo não pode ser numerado¹⁰³ (SIMPLICIUS, 1882, p. 788-789 *apud* DESCLOS; FORTENBAUGH, 2017, p. 83).

Ademais, Estratão também se insurgiu contra a visão aristotélica da inexistência do vazio, invertendo o entendimento dos estoicos a respeito do tema. Enquanto para o estoicismo o vazio só poderia estar fora do mundo¹⁰⁴, circundando-o, Estratão negava a existência de um vazio exterior ao mundo, mas considerava a possibilidade de que o

¹⁰² De fato, Estratão “aproxima-se da noção de aceleração ao observar, por exemplo, que um fio de água ao cair de um teto se fragmenta, provando assim que a velocidade da água aumenta durante a queda. Do mesmo modo, quanto maior for a altura da queda de uma pedra, mais profunda é a marca que imprime no solo, o que indica uma diferença de velocidade consoante a altura da queda” (CROZON, 2010, p. 99).

¹⁰³ No original: “The opinion that Plato and Aristotle held about time has been stated previously. Theophrastus and Eudemus too, the colleagues of Aristotle, clearly held and taught the same opinions concerning time as Aristotle. But Strato of Lampsacus, finding fault with the definition of time given by Aristotle and Aristotle’s colleagues, although he was a pupil of Theophrastus, who followed Aristotle in almost everything, himself followed a new path. For he did not accept that time is the number of change, because number is a discrete quantity, but change and time are continuous, and what is continuous cannot be numbered”.

¹⁰⁴ “Não há vazio no mundo, mas o próprio mundo está num vazio ilimitado, incorpóreo, inactivo, impassível. [...] Se os Estoicos mantêm este vazio incorpóreo fora do mundo, é porque um tal vazio é necessário para permitir a conflagração universal em que o mundo se dilata para além das suas dimensões” (BRUN, 1986, p. 52-53).

mundo comportasse o vazio. Acerca desse contraste, afirma Teodoreto em seu *Graecarum affectionum curatio*¹⁰⁵:

Os Estoicos [dizem] que não existe vazio dentro do universo, mas que fora dele existe um muito grande e indefinido [vazio]. Estratão, por outro lado, [diz] que não existe vazio fora, mas que pode existir vazio dentro¹⁰⁶ [do mundo] (THEODORET, 1904, p. 104 *apud* DESCLOS; FORTENBAUGH, 2017, p. 71).

Em relação à doutrina aristotélica do movimento natural, Estratão defende que quanto mais próximo um corpo estiver do seu lugar natural, mais rápido será seu deslocamento, de modo que percorrerá a última distância que o separa do seu lugar natural com maior velocidade do que percorreu todas as distâncias precedentes. No *Sobre a Física de Aristóteles*, Simplicius aponta que Estratão não é o único pensador a defender tal ideia, mas que é um dos poucos a apresentar evidências para corroborar sua versão. O comentador pontua que Estratão

“diz, em seu *Sobre o Movimento*, que a última mudança de lugar é feita no menor tempo por aquilo que está se movendo [...] [e que] ‘se alguém solta uma pedra, ou outra coisa possuindo peso, segurando-a à distância de um dedo acima do solo, ela certamente não causará um impacto visível no solo, mas se alguém soltá-la segurando-a a cem pés acima ou mais, causará um forte impacto. E [não] há’, ele diz, ‘nenhuma outra razão para o impacto. Pois ela [pedra] não tem um peso maior, nem a coisa que se move é maior, nem atinge uma área maior, tampouco é impelida por uma maior [força externa]; mas ela se move mais rapidamente. E tanto essa quanto muitas outras coisas acontecem por essa razão.’ Essa prova, imagino, mostra que, quando ela [pedra] é erguida a uma pequena distância da terra, não se move facilmente porque ainda está na região da terra, mas quando ela se move para seu devido lugar de uma grande distância, constantemente ganha mais poder [de se mover] nesse sentido”¹⁰⁷ (SIMPLICIUS,

¹⁰⁵ Teodoreto (386-458), bispo de Cirro, “compôs, entre 429 e 437, uma *Cura das doenças gregas, ou descoberta da verdade evangélica a partir da filosofia grega*. [...] Os adversários da fé são presunçosos, mais ou menos versados em filosofia, que Teodoreto procura curar de sua doença através do exemplo de filósofos dignos desse nome: Sócrates, Platão e Porfírio, por exemplo. Todo esse tratado [...] encerra a série das apologias escritas por cristãos para convencer os representantes de um paganismo agonizante” (GILSON, 2007, p. 80-81).

¹⁰⁶ No original citado por Desclos e Fortenbaugh, *Remedy for Greek Attitudes*: “The Stoics [say] that there is no void within the universe, but that outside it there is a very great and indefinite [void]. Strato, conversely, [says] that there is no void outside, but that there can be void within”.

¹⁰⁷ No original: “saying in his *On Motion* that the last change of place is made in the shortest time by that which is moving [...] ‘if someone lets go a stone, or something else possessing weight, holding it a finger’s breadth above the ground, it will certainly not make a visible impact on the ground, but if one lets it go holding it a hundred feet up or more, it will make a strong impact. And there is,’ he says, ‘no other reason for the impact. For it does not have greater weight, nor is the thing that moves greater, nor does it strike a greater area, nor is it impelled by a greater [external force]; but it does move more quickly. And both this and many other things happen for this reason.’ This piece of evidence I think shows that, when it

1895, p. 916 *apud* DESCLOS; FORTENBAUGH, 2017, p. 101 e 103).

As passagens acima demonstram que, desde o início, a filosofia aristotélica não esteve completamente a salvo de qualquer contestação ou reanálise, dado que até mesmo os dois escolarcas que sucederam ao Estagirita no Liceu não estavam incondicionalmente de acordo com todos os ensinamentos do mestre. Contudo, após Estratão, as atividades no Liceu prosseguiram sem destaque até o aparecimento de Andrônico de Rodes, responsável pela recuperação e sistematização dos escritos esotéricos¹⁰⁸ de Aristóteles. O declínio do Liceu¹⁰⁹ coincidiu com o florescimento de Alexandria como novo polo da cultura helenística, surgida a partir da difusão da cultura helênica entre diversos povos¹¹⁰.

2.2 A Escola de Alexandria

Em Alexandria, a ciência antiga atingiu o seu auge. Nessa cidade, Euclides e Arquimedes foram responsáveis por substanciais avanços na matemática; e astrônomos como Hiparco e Ptolomeu estabeleceram as bases da visão de mundo geocêntrica que iria perdurar por muitos séculos. Ademais, Alexandria também recebeu Aristarco, considerado por alguns como o predecessor de Copérnico na Antiguidade¹¹¹, devido a

is raised a little distance from the earth it does not move easily because it is still in [the region of] the earth, but when it moves towards its proper place from a great distance, it constantly gains more power [to move] towards this”.

¹⁰⁸ Trata-se dos escritos direcionados à comunidade do Liceu, nos quais Aristóteles “havia consignado uma espécie de apontamentos dos cursos dirigidos aos seus discípulos” (REALE, 2001, p. 138).

¹⁰⁹ Segundo Reale, a principal causa para o declínio do Liceu foi o fato de que a escola se viu privada de boa parte da obra aristotélica após a morte de Teofrasto, que legou “a biblioteca e, portanto, todos os escritos escolásticos de Aristóteles para Neleu de Escepsis [...] que, ao morrer, a deixou aos seus herdeiros. Estes [...] resolveram esconder os preciosos manuscritos numa adega [...]”. Desta maneira, os escritos permaneceram ocultos até que um bibliófilo, chamado Apélícon, os adquiriu e levou para Atenas. Mas nesta cidade permaneceram por pouco tempo; assim, depois da morte de Apélícon, foram confiscados e levados para Roma (86 a.C.) por Sila, onde foram confiados para a sua transcrição ao gramático Tiranião, o qual, todavia, não terminou a sua obra. Esta foi levada a cabo com êxito por Andronico” (*ibid.*, p. 137-138).

¹¹⁰ “Com o declínio do poder político e econômico de Atenas o centro da cultura grega deslocou-se para Alexandria, no Egito” (PIRES, 2008, p. 51). Acerca da distinção entre cultura “helênica” e “helenística”, Giovanni Reale e Dario Antiseri apontam que a primeira, a partir de “sua difusão entre os vários povos e raças, torna-se ‘helenística’”. Essa difusão comportou, fatalmente, perda de profundidade e pureza. Entrando em contato com tradições e crenças diversas, a cultura helênica devia fatalmente assimilar alguns de seus elementos” (REALE; ANTISERI, 2007, p. 252).

¹¹¹ ÉVORA, 1993, p. 48.

sua proposta de que seria o Sol a ocupar o centro do Universo, ao invés da Terra. O fato é que muitos estudiosos se dirigiram à Alexandria, pois não havia local mais adequado para realizarem suas pesquisas. Esse era o objetivo dos idealizadores do *Museu* e da *Biblioteca de Alexandria*, o peripatético Demétrio de Falera e o soberano Ptolomeu I Sóter,

“de reunir em uma grande instituição todos os livros e todos os instrumentos científicos necessários às pesquisas, de modo a fornecer aos estudiosos material que não encontrariam em nenhum outro lugar, induzindo-os assim a ir para Alexandria. Desse modo, nasceram o ‘Museu’ (que significa ‘instituição sagrada dedicada às Musas’, protetoras das atividades intelectuais) e a ‘Biblioteca’ a ele anexa. O primeiro oferecia todo o instrumental para as pesquisas médicas, biológicas e astronômicas; a segunda oferecia toda a produção literária dos gregos” (REALE; ANTISERI, 2007, p. 312).

A intenção de Demétrio era que a cidade contasse com centros de conhecimento projetados segundo o modelo do Liceu de Aristóteles, mas “algo que fosse como que um Perípatos de proporções multiplicadas” (*ibid.*, p. 312), e até mesmo o escolarca do Liceu, Estratão de Lâmpsaco, “convocado por Ptolomeu I, toma a direção da escola de Alexandria” (ROSMORDUC, 1988, p. 19), tornando-se também preceptor do filho do monarca¹¹². A seguir, far-se-á considerações gerais acerca do trabalho de três dos maiores e mais conhecidos astrônomos de Alexandria, Aristarco de Samos, Hiparco de Niceia e Cláudio Ptolomeu.

2.3 Aristarco de Samos

Discípulo de Estratão¹¹³, Aristarco de Samos (310 a.C. - 230 a.C.) contrariou a crença geocêntrica dominante, embora não tenha sido o primeiro a propor que a Terra não ocupava o centro do Universo. Um dos primeiros a fazê-lo foi Filolau de Crotona (séc. V - IV a.C.)¹¹⁴, que de acordo com Diógenes Laércio, teria sido “o primeiro a dizer que a terra se move circularmente” (LAËRTIOS, 2008, p. 249). Discípulo de

¹¹² REALE; ANTISERI, 2007, p. 312.

¹¹³ BEAUJEU, 1959, p. 138.

¹¹⁴ A época exata em que viveu Filolau é muito incerta. Diógenes Laércio aponta que Filolau pode ter vivido no final do século V a.C. (LAËRTIOS, 2008, p. 248, nota 622), enquanto Fátima Évora situa-o no século IV a.C. (ÉVORA, 1993, p. 21).

Pitágoras¹¹⁵, Filolau conferia bastante importância ao número, acreditando que o número 10 seria o mais perfeito¹¹⁶. Dessa forma, o seu modelo cosmológico admitia a existência de 10 esferas, sendo que além

“da esfera das estrelas fixas, Terra, Lua, Sol e dos cinco planetas visíveis (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), os pitagóricos acreditavam na existência de um décimo planeta, que Philolaus (séc. IV a.C.) chamou de *antichthon* (anti-Terra), que seria invisível para um observador terrestre, devido a sua posição e período de revolução no Universo” (ÉVORA, 1993, p. 21).

Contudo, o modelo de Filolau não era heliocêntrico, pois ele acreditava que as 10 esferas giravam em torno de um *fogo central*, sendo o Sol apenas mais uma esfera movimentando-se ao redor do fogo¹¹⁷. Aristóteles apontava que o objetivo desse sistema não seria descrever a realidade observável, mas adequá-la a uma visão de mundo pré-determinada:

A maioria dos que sustentam que *todo o céu (universo)* é finito, afirma que ela [a Terra] se situa no centro dele, embora os itálicos, chamados de pitagóricos, afirmem o contrário, ou seja, que no centro [do universo] está o fogo e que a Terra, na sua condição de astro, à medida que realiza um curso circular em torno do centro, *gera a noite e o dia*. Ademais, inventam uma outra Terra, a qual se posiciona em oposição à nossa, e que deles recebe o nome de *antiTerra*. Essa é sua postura, sem procurarem para os fenômenos explicações e causas, mas, pelo contrário, tentando forçar os fenômenos a se ajustarem a certas teorias e opiniões pitagóricas (ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 293a19-27, grifos do tradutor).

Após Filolau, quem mais se aproximou de uma concepção heliocêntrica do cosmos foi Heráclides de Pontos (387 - 315/310 a.C.), talvez aluno de Platão, defensor da hipótese de que o Sol ocupava o centro da órbita de Mercúrio e Vênus, e que girava

¹¹⁵ PIRES, 2008, p. 20.

¹¹⁶ Os pitagóricos defendiam que o número consistia no “elemento básico explicativo da realidade, podendo-se constatar uma proporção em todo o cosmo [...]. Essa concepção do número como elemento primordial reflete-se na *tetractys*, ou ‘grupo dos quatro’, que consiste nos quatro primeiros algarismos (1, 2, 3, 4), que somam dez (10) e que podem ser dispostos em forma triangular, simbolizando uma relação perfeita” (MARCONDES, 2007, p. 33).

¹¹⁷ Segundo Filolau, a Terra “girava, em vinte e quatro horas, em torno de um fogo central, que não era o Sol, e que não podia ser visto da região habitada da Terra, que se mantinha sempre do lado oposto. Para os pitagóricos o fogo era considerado o mais puro dos elementos” (PIRES, 2008, p. 20).

junto aos demais planetas¹¹⁸ ao redor da Terra, localizada no centro do Universo e detentora de um movimento em torno do próprio eixo. Segundo Évora, tratava-se de um modelo semi-heliocêntrico¹¹⁹, já que conferiu uma centralidade relativa ao Sol, embora não o transformasse no centro da órbita de todos os corpos celestes.

Contudo, a mais radical ruptura com o geocentrismo foi operada por Aristarco, que inverteu a posição do Sol e da Terra no ordenamento cosmológico, colocando o primeiro no centro do mundo e a Terra em sua órbita, assim como os demais planetas. A inovação de Aristarco fez com que ele passasse à História como o precursor de Copérnico na Antiguidade, embora sua obra *Sobre os Tamanhos e as Distâncias do Sol e da Lua*, única que sobreviveu aos nossos dias, não contenha referências às suas concepções heliocêntricas¹²⁰. O conhecimento acerca dessas ideias de Aristarco provém originalmente do famoso Arquimedes (287 - 212 a.C.), que viveu na mesma época:

“conforme o testemunho [...], confirmado por numerosos textos posteriores, Aristarco emitiu a hipótese segundo a qual as ‘estrelas fixas e o Sol permanecem imóveis e a Terra gira em torno do Sol, descrevendo um círculo, e o Sol ocupa o meio da órbita [...]’; o centro do Sol coincide com o centro da esfera das fixas” (BEAUJEU, 1959, p. 139).

Todavia, o modelo de Aristarco foi refutado por quase todos os estudiosos¹²¹. Os historiadores enumeram uma série de razões para isso, e talvez a mais relevante seja que, à época, a explicação geocêntrica não apresentava nenhuma dificuldade que pudesse ser sanada pelo sistema heliocêntrico¹²², enquanto este suscitava problemas dos quais a teoria concorrente estava isenta. Um deles era o fato de que postular o

¹¹⁸ “Para os Gregos e os seus sucessores, o Sol era um dos sete planetas. Os outros eram a Lua, Mercúrio, Vénus, Marte, Júpiter e Saturno” (KUHN, 2002, p. 61).

¹¹⁹ ÉVORA, 1993, p. 45.

¹²⁰ Acerca desse ponto, Évora acredita que as hipóteses heliocêntricas de Aristarco tenham sido desenvolvidas após a redação do tratado (*ibid*, p. 49, nota 49). Por sua vez, Beaujeu diz que possivelmente o “trabalho represente uma obra da juventude, pois aí o autor admitia o sistema geocêntrico” (BEAUJEU, 1959, p. 139).

¹²¹ “Segundo Plutarco, esta suposição [heliocêntrica] foi sustentada com muita segurança no século II a.C. por Seleuco, o Babilônio, que procurou encontrar novas provas em seu favor e que a defendeu vigorosamente” (DAMPIER, 1945, p. 72). A História registra apenas Seleuco como defensor do modelo de Aristarco.

¹²² Sendo assim, não haveria motivo para levar a sério a teoria de Aristarco em substituição ao modelo geocêntrico então vigente (PIRES, 2008, p. 51).

movimento da Terra exigia hipóteses adicionais para explicar a ocorrência da *paralaxe* das estrelas da esfera das estrelas fixas, ou seja, a sua mudança aparente de posição no céu. Tal fenômeno necessariamente ocorreria caso se admitisse o deslocamento terrestre, pois estando as estrelas imóveis, uma determinada estrela seria percebida pelo observador em diferentes pontos do espaço, a depender do ponto ocupado pela Terra em seu movimento de translação. Cohen e Drabkin afirmam o seguinte:

Os astrônomos [...], de modo geral, rejeitaram a hipótese heliocêntrica por razões científicas. Se a Terra girasse em uma órbita em torno do Sol, a posição das estrelas fixas tal como observada a partir de várias partes da órbita da Terra deveria variar. Uma vez que tal variação não foi observada na Antiguidade [...], Aristarco foi compelido a supor que a esfera das estrelas fixas era incomparavelmente maior do que a esfera contendo a órbita da Terra¹²³ (COHEN & DRABKIN, 1948, p. 107-108).

De fato, Aristarco contornou o problema sugerindo que a posição das estrelas fixas aparentemente permanecia inalterada mesmo se admitindo o movimento da Terra devido ao fato de que as dimensões do Universo eram muito maiores do que se acreditava até então. Em sua obra *O Contador de Areia*¹²⁴, Arquimedes diz:

Aristarco de Samos publicou um livro composto por algumas hipóteses, em que as premissas levam ao resultado que o Universo é muitas vezes maior do que esse agora assim denominado. Suas hipóteses são que as estrelas fixas e o Sol permanecem imóveis, que a Terra gira em torno do Sol na circunferência de um círculo, o Sol encontrando-se no meio da órbita, e que a esfera das estrelas fixas, situada sobre o mesmo centro que o Sol, é tão grande que o círculo no qual ele supõe que a Terra gira possui tal proporção à distância das esferas fixas como o centro da esfera possui para sua superfície. [...] uma vez que nós concebemos a Terra estando, por assim dizer, no centro do Universo, a razão que a Terra possui para o que nós descrevemos como o “Universo” é igual à razão que a esfera contendo o círculo em que ele [Aristarco] supõe que a Terra gire possui para a esfera das estrelas fixas. Pois ele adapta as provas de seus resultados às hipóteses desse tipo, e em particular ele parece supor a magnitude da esfera em que ele representa a Terra se movendo como sendo igual ao que nós chamamos o “Universo”¹²⁵ (ARCHIMEDES, in HEATH, 2010, p. 221-222).

¹²³ No original: “The astronomers [...], generally rejected the heliocentric hypothesis on scientific grounds. If the earth revolved in an orbit about the sun, the position of the fixed stars as observed from various parts of the earth’s orbit should vary. Since no such variation was observed in antiquity [...], Aristarchus was compelled to assume that the sphere of the fixed stars was incomparably greater than the sphere containing the earth’s orbit”.

¹²⁴ *The Sand-Reckoner*, na edição em inglês de Thomas L. Heath.

¹²⁵ No original: “Aristarchus of Samos brought out a book consisting of some hypotheses, in which the premisses lead to the result that the universe is many times greater than that now so called. His

Em síntese, a proposta de Aristarco consistia em uma reinterpretação das dimensões do Universo aceitas na época. Aquilo que seus contemporâneos chamavam de Universo era, para Aristarco, apenas a esfera contendo a Terra em movimento. Assim, o espaço contendo os demais corpos celestes, como o Sol, a Lua e os demais planetas e estrelas já extrapolavam os limites do cosmo conforme o entendimento dos geocentristas. Em outros termos, o diâmetro do Universo geocêntrico era equivalente à distância entre a Terra no centro do mundo e a esfera das estrelas fixas; dimensões que, para Aristarco, representavam apenas a esfera da órbita terrestre.

Na visão de Aristarco, além da área dessa esfera, havia a distância entre esta e o Sol no centro do cosmo, bem como a distância entre a esfera da Terra e a esfera das estrelas fixas. Ademais, Arquimedes também menciona que Aristarco não apenas supôs que as distâncias entre os corpos celestes eram maiores do que se imaginava, mas que os tamanhos desses corpos eram superiores àquilo que os geocentristas defendiam. Isso porque, segundo Aristarco, a esfera das estrelas fixas é tão grande que a proporção entre o centro dessa esfera e sua superfície (ou seja, o raio da circunferência dessa esfera) é equivalente à distância entre a esfera contendo a órbita terrestre e as estrelas fixas.

Segundo Pires (2008, p. 51), Aristarco foi o primeiro a ter uma visão razoável das grandes dimensões do cosmo. De fato, a imensidão do Universo de Aristarco era bastante superior à construção geocêntrica, pois enquanto esta assumia que a esfera das estrelas fixas era imensamente maior do que a Terra, Aristarco substituíra esta última pela esfera na qual o planeta estava em movimento, ampliando assim inúmeras vezes o tamanho do Universo. Contudo, o geocentrismo era mais simples e eficaz para explicar a realidade observável, sendo assim mais adequado para “salvar os fenômenos”¹²⁶,

hypotheses are that the fixed stars and the sun remain unmoved, that the earth revolves about the sun in the circumference of a circle, the sun lying in the middle of the orbit, and that the sphere of the fixed stars, situated about the same centre as the sun, is so great that the circle in which he supposes the earth to revolve bears such a proportion to the distance of the fixed stars as the centre of the sphere bears to its surface. [...] since we conceive the earth to be, as it were, the centre of the universe, the ratio which the earth bears to what we describe as the ‘universe’ is the same as the ratio which the sphere containing the circle in which he [Aristarchus] supposes the earth to revolve bears to the sphere of the fixed stars. For he adapts the proofs of his results to a hypothesis of this kind, and in particular he appears to suppose the magnitude of the sphere in which he represents the earth as moving to be equal to what we call the ‘universe.’”.

¹²⁶ Sobre isso, diz Beaujeu: “Ao sistema heliocêntrico que suscitava enormes dificuldades, os maiores astrônomos e matemáticos, a começar por Arquimedes, Apolônio de Perga e Hiparco, preferiam o sistema

embora não o fizesse por completo, já que obrigou astrônomos como Hiparco e Ptolomeu a aperfeiçoarem geometricamente seus modelos. Sobre isso, Cohen e Drabkin pontuam que, para os geocentristas,

“a esfera das estrelas fixas é incomparavelmente maior do que a própria Terra (não [do que] a esfera da sua órbita). Dado que a suposição dos geocentristas era um pouco mais fácil de fazer, sua posição foi geralmente adotada. Novamente, a colocação do sol no exato centro não conseguiu salvar os fenômenos, por exemplo, a desigualdade das estações. Provavelmente, é por estas razões que Hiparco (e mais tarde Ptolomeu) adotou a hipótese geocêntrica que, em conjunto com excêntricos, epiciclos e deferentes, tornou-se o sistema astronômico dominante da antiguidade”¹²⁷ (COHEN & DRABKIN, 1948, p. 108).

Além disso, a hipótese heliocêntrica também enfrentou objeções filosóficas, já que ia de encontro às crenças vigentes na época. Em especial, o sistema de Aristarco era incompatível com a doutrina aristotélica do lugar natural, pois para o Estagirita os corpos compostos pelo elemento “terra” deslocavam-se naturalmente para o centro do Universo, ocupado necessariamente pela Terra, lugar natural dos corpos “mais pesados”. Ou seja, o geocentrismo era o alicerce da física aristotélica, e rejeitá-lo implicava negar as concepções do Estagirita acerca do movimento. Mas os pensadores da época não estavam dispostos a desprezar a dinâmica de Aristóteles em favor do sistema de Aristarco, sendo válido lembrar que a própria escola de Alexandria era inspirada no Liceu. Ademais, até mesmo os defensores da ideia de um fogo central (concepção mais próxima ao heliocentrismo, por deslocar a Terra a um ponto periférico do Cosmos) insurgiram-se contra Aristarco, rejeição que, segundo Plutarco, teve motivação religiosa¹²⁸. Curiosamente, seria um religioso, Nicolau Copérnico, a

geocêntrico, que, segundo a expressão consagrada entre os sábios gregos, lhes parecia mais apto a ‘salvar as aparências’” ((BEAUJEU, 1959, p. 140).

¹²⁷ No original: “the sphere of fixed stars is incomparably greater than the earth itself (not the sphere of its orbit). Since the assumption of the geocentrists was somewhat easier one to make, their position was generally adopted. Again, the placing of the sun at the precise center did not succeed in saving the phenomena, e.g., the inequality of the seasons. It is probably for these reasons that Hipparchus (and later Ptolemy) adopted the geocentric hypothesis which, in connection with eccentrics, epicycles, and deferents, became the dominant astronomical system of antiquity”.

¹²⁸ Conforme Cohen e Drabkin: “A hipótese heliocêntrica de Aristarco teve pouco sucesso na Antiguidade. Ela não apenas foi contra à amplamente aceita doutrina filosófica dos ‘lugares naturais’, com a Terra como centro, mas também à doutrina de um fogo central que, de várias formas, tornou-se uma questão de crença religiosa (conforme Plutarco, *De facie in orbe lunae*, 922F-923A)” (COHEN & DRABKIN, 1948, p. 107). No original: “The heliocentric hypothesis of Aristarchus had little success in antiquity. Not only did it go counter to the widely held philosophical doctrine of ‘natural places’, with the

desenvolver a incipiente hipótese heliocêntrica, cujo florescimento foi o ponto de partida para a Revolução Científica promovida por Galileu, Kepler e Newton.

2.4 Epíclis e deferentes

Apesar de o geocentrismo oferecer uma explicação mais adequada para os fenômenos conforme estes eram observados na Antiguidade, a hipótese não estava a salvo de imperfeições. De fato, o sistema das esferas homocêntricas, segundo o qual a Terra estava no centro do mundo e os demais corpos celestes giravam em torno dela através de suas respectivas esferas contradizia algumas observações a respeito das órbitas de Vênus e Marte, dado que o diâmetro aparente desses planetas não era constante¹²⁹, implicando, portanto, que as distâncias entre esses corpos e a Terra também variava. Isso não seria possível no modelo geocêntrico aristotélico¹³⁰, em que todas as esferas eram concêntricas com a esfera da Terra, disposição que exigia que as distâncias entre cada esfera e a Terra sempre fosse a mesma¹³¹, qualquer que fosse o ponto da órbita ocupado pela esfera em dado momento.

Assim, os astrônomos da época perceberam a necessidade de reformular o modelo, substituindo as esferas por um sistema que combinava círculos capazes de descrever com maior exatidão os movimentos dos corpos celestes. Tratava-se do sistema baseado em *epíclis* e *deferentes*¹³², ideia cuja autoria é desconhecida, mas que segundo Thomas Kuhn foi desenvolvida por Apolônio de Perga e Hiparco de Niceia:

earth as center, but also to the doctrine of a central fire which, in various forms, had become a matter of religious belief (cf Plutarch, *De facie in orbe lunae*, 922F-923A)".

¹²⁹ Segundo Beaujeu, o sistema planetário das esferas proposto por Eudoxo e aperfeiçoado por Calipo e Aristóteles "ia de encontro a uma das 'aparências' [...]: cada um dos planetas, neste sistema, achava-se sempre à mesma distância da Terra, uma vez que as esferas que governavam seu movimento eram todas concêntricas à Terra, enquanto na realidade o diâmetro aparente de Vênus e de Marte, ao menos, varia de modo nitidamente perceptível" (BEAUJEU, 1959, p.141).

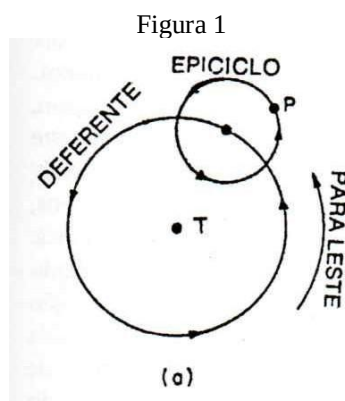
¹³⁰ Ver tópico 1.10, página 40.

¹³¹ Conforme esclarece Kuhn, dado que "a teoria de Eudoxo coloca cada planeta numa esfera concêntrica com a Terra, a distância entre um planeta e a Terra não pode variar. Mas os planetas parecem mais brilhantes e, por isso, mais próximos da Terra, quando estão em movimento retrógrado" (KUHN, 2002, p. 74).

¹³² A palavra "deferente" deriva do latim *deferre*, que significa transportar, carregar (PIRES, 2008, p. 56).

A origem do invento que substituiu as esferas homocêntricas na explicação dos pormenores do movimento planetário é desconhecida, mas as suas características foram desde cedo investigadas e desenvolvidas por dois astrônomos e matemáticos gregos, Apolônio e Hiparco, cujo trabalho abarca o período desde meados do século III até ao fim do II a.C. Na sua forma mais simples (figura 19a), o novo mecanismo matemático para os planetas consiste num pequeno círculo, o epiciclo, que roda uniformemente sobre um ponto da circunferência do segundo círculo rotativo, o deferente (KUHN, 2002, p. 75).

Na sequência, na figura 19a (Figura 1), Kuhn exemplifica como se daria o movimento de um planeta P regido pelo sistema de epiciclo e deferente, advertindo que tal figura ilustraria apenas um movimento básico desse tipo, consistindo em uma “simplificação especial que não é característica do movimento de qualquer planeta” (*ibid.*, p. 77).



De acordo com a representação acima, o movimento do planeta P é descrito pelo epiciclo, cujo centro, por sua vez, é atravessado pela órbita do deferente, o círculo maior que compartilha o mesmo centro com a Terra. Com esse sistema, procurava-se explicar as variações das distâncias entre os planetas e a Terra, e de fato pode-se perceber claramente como a proposta parecia “salvar os fenômenos” de modo satisfatório. Na Figura 1, nota-se que o planeta P aproxima-se ou se afasta da Terra conforme sua posição no epiciclo, sendo que ao realizar o movimento retrógrado (quando se desloca pelo arco correspondente à interseção entre os dois círculos) fica mais próximo da Terra, corroborando as observações astronômicas da época¹³³. Todo movimento retrógrado do planeta implicava necessariamente maior proximidade com a Terra¹³⁴.

¹³³ Ver nota anterior.

¹³⁴ Segundo Kuhn, “o planeta só pode retroceder quando o seu movimento o leva para mais perto da Terra e essa é a posição em que o planeta deve aparecer, e é a mais brilhante” (KUHN, 2002, p. 77).

Ainda segundo Kuhn, a explicação do movimento de cada planeta precisaria de um sistema epiciclo-deferente individual¹³⁵, cada um deles flexível, ou seja, passível de modificação para dar conta dos fenômenos observados¹³⁶, conferindo-lhes a vantagem de se adequarem às descobertas futuras no tocante aos movimentos planetários. Epiciclo e deferente mover-se-iam na mesma direção quando o planeta se deslocasse para o leste, e em direções opostas quando o planeta se voltasse para o oeste, realizando o movimento retrógrado a sua translação em torno da Terra, mas se aproximando dela. Nas palavras de Kuhn:

Quando a rotação do epiciclo leva o planeta para fora do deferente, os movimentos, tanto do epiciclo, como do deferente juntam-se para mover o planeta para leste. Mas quando o movimento do epiciclo coloca o planeta bem dentro do deferente, o epiciclo leva o planeta para oeste, em oposição ao movimento do deferente. Portanto, quando o planeta está mais próximo da Terra, os dois movimentos podem juntar-se para produzir um movimento efetivo para oeste ou um movimento retrógrado (KUHN, 2002, p. 76).

A adoção do sistema de epiciclos e deferentes parece ter sanado, na época, as principais dificuldades proporcionadas pelo sistema aristotélico das esferas homocêntricas. A contribuição de Hiparco parece ter sido a de aperfeiçoar o novo sistema, corrigindo imperfeições e preparando o terreno para as contribuições de Ptolomeu¹³⁷.

2.5 “Força impressa” e aceleração

Um dos mais famosos adeptos do sistema de epiciclos e deferentes, Hiparco de Niceia não se limitou apenas às críticas ao modelo astronômico adotado por Aristóteles, notabilizando-se também por questionar os pressupostos da dinâmica do Estagirita, ou seja, as explicações para os movimentos no mundo sublunar. Concentrando-se no

¹³⁵ KUHN, 2002, p. 79.

¹³⁶ Segundo Kuhn: “A velocidade das revoluções do epiciclo e do deferente podem ser ajustadas para se adaptarem às observações de qualquer planeta, produzindo precisamente aquele movimento intermitente para leste entre as estrelas que os planetas têm” (*ibid*, p. 77).

¹³⁷ Diz Colin Ronan: “No que diz respeito aos movimentos planetários, Hiparco não deu contribuições de real importância, mas apontou certas falhas no uso por Apolônio de seu sistema de epiciclos e no modo pelo qual todos os sistemas anteriores tinham sido aplicados. Assim, abriu caminho para uma nova teoria de movimentos planetários que iria ‘salvar os fenômenos’ com precisão matemática, realização que seria conseguida por Ptolomeu” (RONAN, 1987, p. 126-127).

problema do movimento dos projéteis, Hiparco discordou da solução de Aristóteles segundo a qual mesmo após perder o contato com a causa de seu deslocamento um corpo permanecia em trajetória antinatural devido à ação do ar, que impulsionava o projétil. Ao invés disso, Hiparco propunha que o fenômeno era derivado de uma *força impressa*, algo que era transmitido ao corpo pelo agente motor na ocasião do lançamento. Pode-se dizer que, na concepção de Hiparco, um corpo se mantinha em movimento antinatural (por exemplo, uma pedra arremessada ou uma flecha disparada) não por sofrer uma ação externa (do ar que o impulsionaria, substituindo a causa original do lançamento), mas sim por possuir em si uma força propulsora oriunda da causa original do deslocamento. Conforme o movimento prossegue, tal força diminui até se extinguir por completo, quando o movimento enfim retornaria ao estado natural de repouso. Nas palavras de Bertoldo,

“pode-se dizer que a ação do motor (força externa) imprimiria ao corpo movente (projétil) uma certa ‘força impressa’. E, uma vez posto a se deslocar livremente sem a ação do motor, tal força impressa passaria a sofrer uma diminuição gradativa enquanto o projétil se deslocasse num meio dissipativo. [...] a força impressa advogada por Hiparco era claramente uma forma de interação que, durante a Idade Média, recebeu o sugestivo nome de *ímpeto*” (BERTOLDO, 2004, p. 26, grifo do autor).

Percebe-se, portanto, a grande importância histórica da proposta de Hiparco, evidente antecessora da *teoria do ímpeto*, que desempenhou papel fundamental para uma nova compreensão da natureza no século XIV, sobretudo com as contribuições de Jean Buridan e Nicole Oresme. Contudo, os contemporâneos de Hiparco não acolheram sua ideia inovadora, e mais uma vez se fez presente o peso da tradição, do dogma aristotélico: assim como ocorrera com Aristarco, os estudiosos não estavam dispostos a substituir as explicações de Aristóteles pelas de Hiparco, até mesmo porque a “força impressa” não poderia ser observada durante o lançamento dos projéteis. Diz Bertoldo:

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 (*ibid*, p. 27).

Assim, refutar a existência dessa força não implicava nenhum desacordo com o mundo sensível observado até então. De fato, é forçoso admitir que a proposta de Aristóteles parecia mais sensata: ela recorria a algo existente (o ar) para tentar explicar o fenômeno do arremesso, enquanto Hiparco postulava algo cuja realidade não podia ser constatada mediante observação. Alternativa semelhante à proposta por Hiparco apareceria apenas no início da Idade Média, através do trabalho de João Filopono.

Ademais, Hiparco não se restringiu a explicar apenas a continuidade do deslocamento antinatural do projétil, mas também o retorno deste ao seu lugar natural. Nesse caso, segundo Koyré, Hiparco propôs a existência de uma “força estranha” para explicar a aceleração dos corpos em queda, que não era algo “impresso” ao móvel, mas sim uma espécie de resistência ao aumento de sua velocidade. Assim, quanto mais próximo de seu lugar natural o corpo estivesse, mais rápido ele se deslocaria. Como diz Koyré,

“Hiparco [...] pensou que o movimento natural é mais rápido para o fim porque no começo do seu movimento o móvel é estrangido por uma força estranha; de onde resulta que ele não pode exercer a sua potência nativa; é por isso que se move lentamente; mais tarde, quando essa força estranha e exterior pouco a pouco desaparece, a potência natural restabelece-se e, de certa maneira liberta de entraves, age mais eficazmente. É assim que os corpos aceleram progressivamente a sua velocidade” (KOYRÉ, 1986, p. 45-46).

Aristóteles também reconheceu a aceleração dos corpos em uma passagem do *De caelo*¹³⁸, mas creditava o fenômeno à atuação do ar, que para o Estagirita impulsionava os corpos pesados (como água e terra) em direção ao seu lugar natural devido a sua qualidade de pesado. Para Aristóteles, o ar agia como se estivesse “se introduzindo” no móvel, acelerando a sua trajetória descendente, sendo assim o *instrumento* pelo qual o princípio motriz da coisa¹³⁹ atuaria; contudo, não se trataria de uma força propriamente dita, mas sim de uma *tendência* do móvel a se deslocar para o seu lugar natural, auxiliado pelo ar¹⁴⁰.

¹³⁸ ARISTÓTELES, *Do céu*, 2014, 301b20-30. Trecho citado na página 32 deste trabalho.

¹³⁹ Ou seja, sua natureza, como a tendência dos corpos pesados a se deslocarem de maneira descendente.

¹⁴⁰ Entretanto, segundo Koyré (1986, p. 42), os comentadores não parecem ter entendido essa sutileza na filosofia do Estagirita, supondo, provavelmente, que o ar de fato provocava a aceleração, constituindo-se, portanto, como uma força, ao invés de apenas contribuir para o fenômeno de aceleração dos corpos em direção ao seu lugar natural. Tal incompreensão fez com que os comentadores questionassem como é que

2.6 Salvando as aparências: Ptolomeu

Com Ptolomeu, a concepção geocêntrica atingiu o ápice, com a sistematização das observações astronômicas feitas pelos seus predecessores (e por ele mesmo) em um sistema matemático coerente. De acordo com Pires (2008, p. 55), Ptolomeu estava interessado em fornecer o conhecimento matemático necessário para o cálculo preciso dos movimentos dos corpos celestes, sem se ater às causas de tais deslocamentos, de modo que o seu modelo era essencialmente cinemático. O caso é que, por mais que o sistema de epiciclos e deferentes conseguisse dar conta de explicar a maior parte dos fenômenos observados até então, pequenas irregularidades na descrição dos movimentos planetários ainda persistiam, de modo que o sistema epiciclo-deferente foi sendo aperfeiçoado no decorrer dos séculos, sendo Ptolomeu o responsável pelas maiores contribuições ao referido sistema. Segundo Kuhn:

O sistema um epiciclo-um deferente não foi, portanto, a resposta final para o problema dos planetas. Foi só um início muito promissor que se prestou a um desenvolvimento imediato e continuado. Durante os dezessete séculos que separam Hiparco de Copérnico todos os grandes praticantes criativos da astronomia técnica esforçaram-se por inventar alguns novos conjuntos de pequenas modificações geométricas, que ajustariam de forma exata a técnica básica do sistema um epiciclo-um deferente ao movimento observado dos planetas. [...] Na antiguidade, a maior destas tentativas foi feita cerca de 150 anos a.C. pelo astrônomo Ptolomeu. Como o seu trabalho substituiu o dos seus predecessores e como todos os seus sucessores, incluindo Copérnico, moldaram o seu trabalho segundo o dele, toda a série de tentativas pelas quais Ptolomeu forneceu o arquétipo é hoje normalmente conhecida como *astronomia ptolomaica* (KUHN, 2002, p. 80; 82, grifo meu).

De fato, faz sentido se referir às crenças geocêntricas em voga entre a época de Ptolomeu e o trabalho de Copérnico como sendo a astronomia aristotélico-ptolomaica, dado que se baseavam na filosofia natural de Aristóteles, em que a Terra ocupava um lugar de destaque no centro do cosmo, com a descrição dos fenômenos celestes empreendida de forma sistemática por Ptolomeu¹⁴¹. Ainda segundo Kuhn,

uma causa constante produziria, de forma natural, um efeito variável; ou seja, como é que o ar, na sua qualidade de pesado, poderia provocar a aceleração, a variação da velocidade.

¹⁴¹ Entretanto, Kuhn pontua que a expressão *astronomia ptolomaica* “refere-se mais a uma abordagem tradicional do problema dos planetas do que a qualquer uma das possíveis soluções específicas sugeridas pelo próprio Ptolomeu, pelos seus predecessores ou sucessores” (KUHN, 2002, p. 82).

“a contribuição de Ptolomeu é a mais notável, e toda esta técnica de resolver o problema dos planetas é apropriadamente conhecida pelo seu nome, porque foi Ptolomeu quem primeiro juntou uma série de círculos combinados para explicar, não só os movimentos do Sol e da Lua, mas também as regularidades e irregularidades quantitativas observadas nos movimentos aparentes de todos os sete planetas. O seu *Almagesto*, o livro que simboliza as maiores conquistas da astronomia antiga, foi o primeiro tratado matemático sistemático a dar uma explicação *completa, pormenorizada e quantitativa* de todos os movimentos celestes” (KUHN, 2002, p. 87-88, grifos do autor).

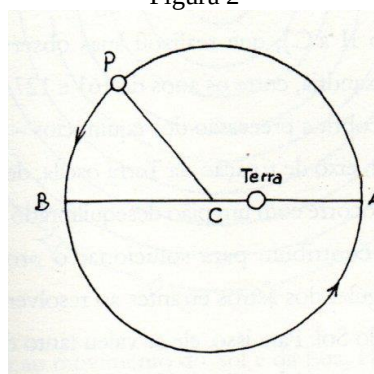
Não obstante a importância histórico-científica das explicações ptolomaicas, o presente trabalho limitar-se-á apenas às implicações filosóficas da teoria, para melhor compreensão da concepção de mundo que imperava no século XIV, época na qual Oresme viveu. Sendo assim, não cabe analisar o conteúdo do *Almagesto*¹⁴², cuja maior parte “consiste em tabelas matemáticas quantitativas, diagramas, fórmulas e provas, em longas computações explicativas e listas de numerosas observações” (*ibid.*, p. 88), mas apenas destacar aspectos teóricos acerca da relevância do trabalho de Ptolomeu, nomeadamente no que diz respeito ao seu esforço em “salvar as aparências”. Em outras palavras, Ptolomeu procurou estabelecer relações matemáticas que se adequassem aos fenômenos, indo ao encontro das observações, o que não implicava explicar o porquê das coisas, a razão pela qual um movimento ocorria de determinada forma e não de outra, ou fornecer uma *descrição real* do céu. Segundo Loose,

“hipóteses matemáticas devem distinguir-se das teorias sobre a estrutura do Universo. Deste ponto de vista, “salvar as aparências” superpondo relações matemáticas sobre os fenômenos é uma coisa, mas explicar os fenômenos é algo bem diferente” (LOOSE, 1979, p. 30).

A princípio, cabe ressaltar que o sistema ptolomaico conservou a estrutura proposta por Hiparco como um dos modelos válidos para explicar a trajetória aparente dos corpos celestes. Em outras palavras, Ptolomeu acreditava “que mais de um modelo matemático pode ser construído para *salvar as aparências* dos movimentos planetários” (*ibid.*, p. 31, grifo meu). Com isso, pensava Ptolomeu, o astrônomo poderia substituir o sistema epiciclo-deferente por um modelo no qual houvesse a convergência desses dois círculos, o *excêntrico*, conforme figura a seguir (MOURÃO, 2003, p. 45):

¹⁴² Segundo Pires, o livro, “chamado inicialmente de *Os 13 livros da composição matemática de Claudius Ptolomeu*, passou a ser conhecido mais tarde como *Megale Sintaxis* (A grande composição). Quando traduzido para o árabe recebeu o nome de *al-megiste*, e ao ser reintroduzido na Europa no século XII, mudou, no latim medieval, para *Almagesto* (O Grande)” (PIRES, 2008, p. 54-55).

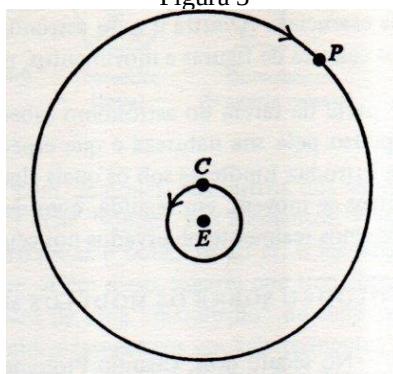
Figura 2



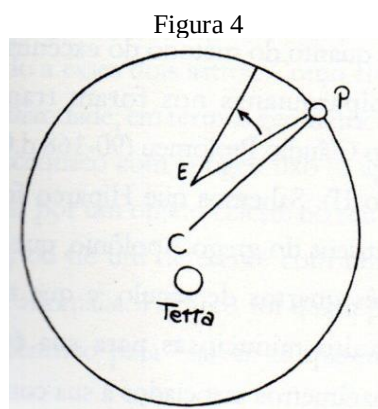
Na representação acima, a trajetória do planeta P não é mais descrita por um epiciclo e um deferente, mas sim pelo excêntrico, círculo no qual a Terra estaria um pouco afastada do centro geométrico. A distância entre a Terra e o ponto C consiste no valor da excentricidade (MOURÃO, 2003, p. 44). Com esse modelo, cuja introdução é creditada ao matemático Apolônio de Perga (c. 260 - 190 a.C.), visava-se “explicar as desigualdades das estações e as variações do diâmetro aparente do Sol, conservando-se a hipótese do movimento circular uniforme” (*ibid.*, p. 43).

A Figura 2 demonstra o princípio básico do excêntrico como um círculo que “consistiu em afastar o centro cosmológico definido pela Terra do centro geométrico de um círculo deferente” (*ibid.*, p. 42). Contudo, o modelo que Ptolomeu considera como sendo matematicamente equivalente à explicação baseada em epiciclos e deferentes é o de um *excêntrico móvel*, no qual “o planeta P move-se ao longo de um círculo centrado em C (excêntrico), ponto este que descreve um círculo centrado na Terra, E, com movimento em sentido contrário” (LOOSE, 1979, p. 31). Considerando que os dois modelos seriam capazes de “salvar as aparências”, o astrônomo poderia escolher qual dos dois utilizar. A Figura 3 representa o modelo do excêntrico móvel (*ibid.*, p. 32):

Figura 3



Entretanto, Ptolomeu resolveu aperfeiçoar o modelo introduzindo a ideia de *equante*¹⁴³, que consistia em “um ponto simetricamente oposto à Terra em relação ao centro geométrico do deferente” (MOURÃO, 2003, p. 48). A partir do ponto equante, a velocidade de determinado planeta deveria mudar de forma constante, conforme a variação do ângulo, e estando o ponto equante (representado pelo vértice do ângulo) deslocado em relação ao círculo geométrico do deferente, percebe-se que a medida do ângulo será variável, o que não poderia acontecer se o vértice do ângulo coincidissem com o centro do deferente, já que nesse caso a distância entre esse ponto e a extremidade do círculo permaneceria a mesma em quaisquer pontos desse círculo¹⁴⁴. A Figura 4 (*ibid.*, p. 45) ilustra um ponto equante E um pouco afastado do centro geométrico do deferente C, e em lado oposto à Terra. O planeta P permanece a uma velocidade constante ao descrever o arco do círculo, representado pela seta que indica a inclinação do ângulo:

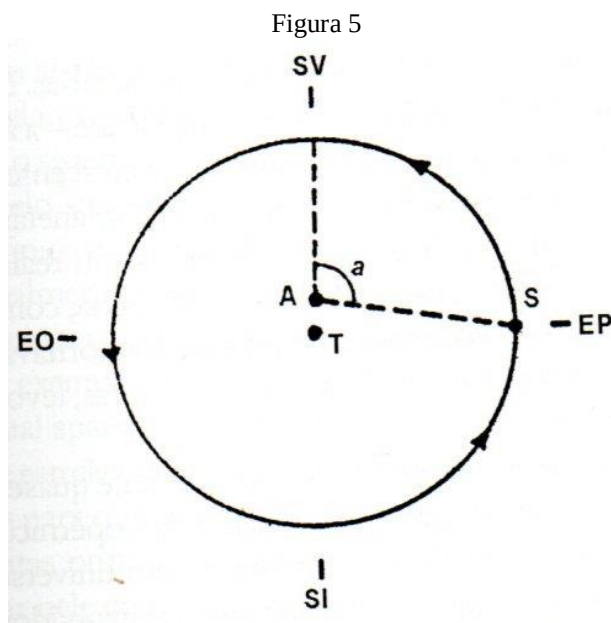


Com esse artifício, Ptolomeu pôde explicar as principais irregularidades dos movimentos planetários observados (*ibid.*, p. 49), como por exemplo os deslocamentos aparentes do Sol, à época considerado um planeta. Kuhn fornece uma descrição pormenorizada de como se daria a aplicação da ideia do equante na descrição das irregularidades observadas no movimento do Sol, conforme a figura 25 (KUHN, 2002,

¹⁴³ Também denominado “equanto” (KUHN, 2002, p. 85) ou “igualante” (PIRES, 2008, p. 57). Tem origem no latim *punctum equans*, ou seja, “ponto equante” (*ibid.*, p. 57).

¹⁴⁴ Esse era “o dogma de Platão, segundo o qual os movimentos dos planetas deveriam ocorrer com velocidade angular constante ao redor da Terra, [mas] Ptolomeu estava mais preocupado em salvar as aparências. Sua preocupação era conseguir desenvolver – como aliás conseguiu – um modelo geométrico-matemático que permitisse descrever os movimentos dos planetas empregando unicamente círculos” (MOURÃO, 2003, p. 49). “O sucesso de Ptolomeu em ‘salvar os fenômenos’ foi reconhecido por todas as gerações posteriores de astrônomos e por seus contemporâneos” (RONAN, 1987, p. 130).

p. 89) de seu livro *A Revolução Copernicana*, reproduzida abaixo (Figura 5), e explicação subsequente.



A figura representa a trajetória do Sol (S) ao redor do círculo centrado na Terra (T), “mas a uma velocidade irregular determinada pela condição de o ângulo a variar uniformemente com o tempo” (KUHN, 2002, p. 89). Diz Kuhn, mais detalhadamente:

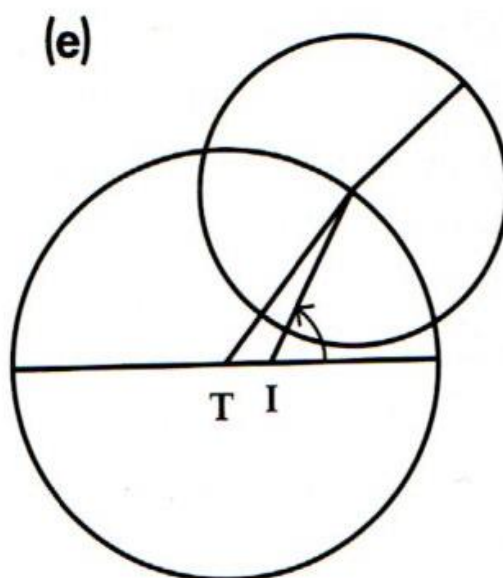
O centro do deferente do Sol coincide [...] com o centro da terra, T , mas a velocidade da rotação do deferente deve agora ser uniforme, não em relação ao seu centro geométrico T , mas relativamente a um ponto equanto, A , neste caso deslocado em direção ao solstício de Verão [SV]. Isto é, o ângulo a subtendido no ponto equanto A pelo Sol e pelo solstício de Verão deve mudar a uma velocidade constante. Se o ângulo aumentar 30° num mês, então deve aumentar 30° em todos os meses que tenham a mesma duração. Na figura, o Sol é mostrado no equinócio da Primavera, EP . Para alcançar o equinócio do Outono, EO , deve completar um semicírculo, que mudará o ângulo a em mais de 180° , e para voltar de EO para EP deve completar um segundo semicírculo, que mudará a para menos de 180° . Como o aumento de 180° em a necessita da mesma quantidade de tempo, o Sol deve levar mais tempo para ir de EP a EO do que no regresso de EO para EP . Assim, visto do ponto equanto A , o Sol viaja a uma velocidade irregular, mais rápida perto do solstício do Inverno e mais lenta perto do solstício de Verão (*ibid.*, p. 86).

No caso mencionado acima, o movimento do Sol é descrito apenas por meio de um deferente¹⁴⁵, sem menção a um epiciclo. Porém, o ponto equante também pode ser

¹⁴⁵ Poder-se-ia pensar que a Figura 5 consistiria em um excêntrico, por ser apenas um círculo, mas deve ser observado que o ponto T representa não apenas a Terra, mas também o centro geométrico, enquanto o

inserido em um modelo epiciclo-deferente, com o centro do epiciclo movendo-se sobre o deferente com um movimento circular uniforme, isto é, no qual o ângulo formado a partir do equante aumenta uniformemente com o tempo, conseqüentemente abrangendo uma área maior da circunferência. Quanto maior a área coberta pelo ângulo, maior a velocidade com a qual o centro do epiciclo se move sobre o deferente. Ou seja, a velocidade aumenta ou diminui de forma constante. A Figura 6 (PIRES, 2008, p. 58, figura 1.1e) mostra um modelo epiciclo-deferente com um equante (letra I):

Figura 6



Embora o modelo baseado no excêntrico e no excêntrico móvel (bem como a inovação do equante) tenha deslocado a Terra do centro do círculo que descrevia o movimento planetário, a crença geocêntrica permaneceu inalterável, dado que a Terra continuou em uma posição em torno da qual giravam todos os demais corpos celestes. A Terra foi o referencial a partir do qual os astrônomos antigos procuraram descrever os fenômenos celestes, elaborando modelos para explicar por que determinado planeta aparentava estar mais próximo ou mais distante da Terra, porque um planeta parecia retroceder em certas ocasiões, etc. Assim, os contínuos aperfeiçoamentos do modelo ptolomaico através dos séculos buscaram basicamente “salvar os fenômenos”, conservando a cosmologia aristotélica.

excêntrico se caracteriza pelo afastamento da Terra desse ponto central (MOURÃO, 2003, p. 42). Assim, a figura consiste em um *deferente* sobre o qual o Sol (ponto S) descreve sua trajetória.

2.7 Críticas de Filopono à argumentação aristotélica sobre o vazio

O filósofo neoplatônico João Filopono de Alexandria, que viveu entre os séculos V-VI d.C., foi um grande estudioso da obra de Aristóteles, comentando vários de seus trabalhos¹⁴⁶. Entretanto, Filopono discordou de várias teses aristotélicas, como em relação ao movimento antinatural; e ao contrapor o pensamento de Aristóteles com as suas próprias explicações, Filopono notabilizou-se por elaborar uma teoria original acerca do movimento, embora retomando tópicos já desenvolvidos por outros autores, como a teoria da “força impressa” de Hiparco. Acerca da contribuição de Filopono à filosofia natural, destaca 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.

Um dos tópicos centrais dessa “nova dinâmica” proposta por Filopono, encontra-se a sua discordância com Aristóteles acerca da queda dos corpos no vazio, afirmando que esses objetos possuiriam uma velocidade finita, contrariando assim a crença aristotélica de que o movimento seria impossível no vazio porque os corpos não enfrentariam qualquer resistência, e conseqüentemente a velocidade seria infinita. No entanto, Filopono defendia que o “peso” dos corpos determinaria a velocidade destes no vazio. Conforme resume Crombie, Filopono

“manteve que em um vazio um corpo cairia com uma velocidade finita característica de sua gravidade, enquanto no ar essa velocidade finita era diminuída em proporção à resistência do meio. A rotação das esferas celestes proporcionava um exemplo de uma velocidade finita que ocorria na ausência de resistência. Filopono também apontou que as velocidades dos corpos em queda pelo ar não eram simplesmente proporcionais aos seus pesos, pois quando um corpo pesado e um menos pesado foram lançados da mesma altura, a diferença entre seus tempos de queda era muito menor do que aquela entre seus pesos”¹⁴⁷ (CROMBIE, 1961, p. 51).

¹⁴⁶ Cohen & Drabkin afirmam que Filopono comentou onze obras de Aristóteles, sem especificá-las (COHEN & DRABKIN, 1948, p. 217, nota 1).

¹⁴⁷ No original: “maintained that in a void a body would fall with a finite velocity characteristic of its gravity, while in air this finite velocity was decreased in proportion to the resistance of the medium. The rotation of celestial spheres provided an example of a finite velocity that took place in the absence of

Em sua crítica a Aristóteles, Filopono busca demonstrar que a existência do vazio não impossibilitaria o movimento. O comentador expõe alguns argumentos aristotélicos contra a existência de movimento no vazio, e não apenas a tese de que nesse caso a velocidade seria infinita. Primeiramente, Filopono menciona o argumento (A) de que não haveria deslocamento através do vazio porque o tempo não existiria, e nada se move sem o tempo. Segundo Aristóteles, existiriam duas causas para o movimento desigual dos corpos, que ocorre quando estes se deslocam através de meios diferentes (como, por exemplo, no caso em que dois corpos idênticos ou o mesmo corpo se move através da água e do ar, ocasião em que o deslocamento pela água irá demorar mais tempo) ou quando dois corpos diferentes estão se movendo através do mesmo meio. Tal tese é assim exposta por Filopono, referindo-se ao Livro IV da *Física* (215a24-b22):

Do movimento desigual dos corpos existem duas causas: primeiro, uma diferença no meio através do qual eles se movem, mesmo que os corpos em movimento sejam iguais [...], e segundo, uma diferença nos corpos em movimento, mesmo que o meio através do qual eles se movem seja uma coisa só. Então ele [Aristóteles] toma primeiro o mesmo corpo em movimento e supõe que isso se mova primeiro através da água e então através do ar, tomando distâncias iguais de cada, e conclui que ele [o corpo] se move através da água em um tempo mais longo do que através do ar. Ele assume que como um tempo é para o outro, então a água é para o ar em sua consistência; pois como o tempo através da água excede aquele através do ar, então a água é mais densa e mais difícil de dividir do que o ar¹⁴⁸ (PHILOPONUS, 2014a, p. 50, 676,4-13).

Ou seja, para Aristóteles, a regra de que um corpo demora um tempo maior para atravessar um meio mais denso (água) e um menor para percorrer um meio mais rarefeito (ar) implica certa proporção entre esses tempos e, por conseguinte, entre os meios. Poderíamos imaginar, portanto, que se determinado objeto demora um tempo x para atravessar a água, e um tempo y para atravessar o ar, então a diferença entre a densidade da água e do ar é proporcional à relação entre os tempos x e y . Aristóteles

resistance. Philoponus also pointed out that the velocities of bodies falling in air were not simply proportional to their weights, for when a heavy and a less heavy body were dropped from the same height, the difference between their times of fall was much smaller than that between their weights”.

¹⁴⁸ Na tradução consultada: “Of the unequal motion of bodies there are two causes: first, a difference in the medium through which they move, even though the moving bodies are equal [...], and second, a difference in the moving bodies, even though the medium through which they move is one and the same. So he takes first the same moving body and supposes this to move first through water and then through air, taking equal distances of each, and he finds that it moves through the water in a longer time than through the air. He assumes that as one time is to the other, so water is to air in its consistency; for as the time though the water exceeds that through air, so water is thicker and harder to part than air”.

imagina que, ao estabelecer tal paridade¹⁴⁹, reforça a sua tese de que o movimento não pode se dar no vazio, pois admitir tal movimento seria pressupor que ele ocorreria em determinado tempo proporcional ao tempo em que o movimento ocorreria em um meio como a água ou o ar, algo que para o Estagirita era impossível, pois não pode haver proporção entre o nada (vazio) e o que existe (água, ar, etc.). Prossegue Filopono, acerca da tese aristotélica:

Agora, já que há essa relação proporcional entre os tempos, os movimentos, e o meio através do qual eles se movem (pois se existe movimento através do vazio, ele diz, naturalmente levará tempo), então o tempo de movimento através do vazio terá certa relação proporcional para aquele [tempo] através do pleno [meio]. Mas isso é impossível, pois o que é *nada* não pode estar em proporção para o que é. Portanto, nenhum dos tempos dos movimentos terá qualquer relação proporcional com os outros. Mas cada tempo finito está em proporção para cada tempo finito: portanto, ele [corpo] se moverá através do vazio em nenhum tempo, e isso é dizer que ele não se moverá, uma vez que não existe movimento sem tempo¹⁵⁰ (PHILOPONUS, 2014a, p. 50, 676,13-23, grifo do tradutor).

Contudo, Filopono rejeita tal raciocínio, negando a premissa de que o tempo no vazio possua uma relação proporcional com o tempo decorrido em um meio material (água, ar, etc.). Afinal, como o meio é uma causa do tempo, por resistir em maior ou menor grau ao movimento, o tempo no vazio teria uma natureza diferente daquele decorrido em um meio como a água ou o ar, dado que o vazio não ofereceria resistência ao movimento e, assim, não influenciaria a duração do tempo, como ocorre nos demais casos. Continua Filopono:

Agora, é claro que o vazio nunca terá a *mesma* proporção que o pleno, já que os tempos não podem ser os mesmos, isto é, o tempo obtido através do vazio e aquele através do pleno, dado que as extensões são iguais; e já foi dito que, dado que os tempos têm alguma proporção uns com os outros, isso não significa necessariamente que o meio através do qual o movimento ocorre tem *aquela* proporção para o outro [meio]. [...] Pois se (a) a diferença nos movimentos varia não apenas com o meio, mas também com os próprios corpos em movimento, e (b) o meio é uma causa do tempo ao impedir o

¹⁴⁹ Isto é, o tempo x é para o tempo y assim como a densidade da água é para a densidade do ar.

¹⁵⁰ Na tradução consultada: “Now, since there is this proportional relation between the times, the motions, and the media through which they move (for if there is motion through void, he says, it will of course take time), then the time of motion through the void will have a certain proportional relation to that through the full. But this is impossible, since what is *nothing* can be in no proportion to what *is*. Hence neither will the times of the motions have any proportional relation to each other. But every finite time is in proportion to every finite time: hence it will move through the void in *no* time, and that is to say it will not move, since there is no motion without time”.

movimento, e (c) ele [meio] impede em virtude da consistência de sua corporeidade, que requer tempo para ser separada, e (d) quando o movimento ocorre através do vazio, tempo é consumido, já que o corpo não pode estar nos dois extremos simultaneamente, mas o tempo é dessa ou daquela duração de acordo com o impulso próprio de cada corpo, e (e) por causa do próprio vazio [...], [no qual] corpos em movimento não levam tempo, como eles fazem [...] quando se movem através de um meio corporal (porque o vazio não tem consistência nenhuma, tal como algum tipo de corporeidade, de modo a exigir divisão, mas existe para a coisa em movimento apenas como uma extensão incorpórea e um espaço [...], não lhe oferecendo nenhuma obstrução): como então pode ser dito que se houvesse movimento através do vazio o vazio teria alguma proporção para o pleno em relação à consistência?¹⁵¹ (PHILOPONUS, 2014a, p. 60-61, 684,13-33, grifos do tradutor).

Além do argumento baseado na proporção entre tempos e meios, Aristóteles também afirmou que caso dois corpos distintos se deslocassem através de um mesmo meio (por exemplo, água ou ar), a velocidade deles seria determinada pela sua massa ou forma. Tal argumentação (C) se encontra no Livro IV da *Física* (216a11-21), e Filopono a expõe da seguinte maneira:

Mas se considerarmos que o meio é o mesmo, e que os movimentos dos corpos sejam diferentes, encontraremos novamente, ele [Aristóteles] diz, que é impossível que o movimento ocorra no vazio. Quando dois corpos desiguais ou diferentes, ele diz, movem-se em um mesmo meio em tempos desiguais, podemos afirmar a razão: a saber, que o mais pesado, porque ele divide o meio mais rapidamente, desce em menos tempo; e da mesma forma no caso de corpos de massas iguais, mas formas diferentes, que o que divide mais ar (ou seja, o largo) desce mais lentamente, e aquele que divide menos, mais rapidamente, já que menos ar é dividido mais rapidamente do que mais [ar]. Mas se o movimento é através do vazio, visto que o que é partido é nada, todos se moverão com igual velocidade. Por que algo deveria se mover mais rápido, e outro mais lento? Mas é impossível que todas as coisas devam se mover com igual velocidade: portanto, é

¹⁵¹ Na tradução consultada: “Now, it is clear that the void will never have the *same* proportion as the full, since the times cannot be the same, i.e. the time taken through the void and that through the full, given that the extensions are equal; and it has been said that, given that the times have some proportion to each other, it does not necessarily follow that the media through which the motion takes place have *that* proportion to each other. [...] For if (a) the difference in the motions varies not only with the media but also with the moving bodies themselves, and (b) the medium is a cause of the time by impeding the motion, and (c) it impedes by virtue of the consistency of its bodiliness, which requires time to be parted, and (d) when the motion takes place through a void time is consumed, since the body cannot be at both ends at once, but the time is of this or that length according to the proper impulse of each body, and (e) because of the void itself [...], moving bodies take no time, as they do [...] when they move through a bodily medium (because the void has no consistency at all, such as some kind of bodiliness, so as to require parting, but exists for the moving thing just as a bodiless extension and a space [...], offering it no obstruction at all): how then can it be said that if there were motion through a void the void would have some proportion to the full in respect of consistency?”

impossível para o movimento ocorrer no vazio¹⁵² (PHILOPONUS, 2014a, p. 51, 676,32-677,9).

Em seguida, Filopono apresenta suas objeções à tese aristotélica, afirmando que o Estagirita se contradiz ao defender que todas as coisas se moveriam com a mesma velocidade no vazio, dado que acabara de afirmar que uma das causas do movimento desigual dos corpos dar-se-ia devido à diferença entre esses corpos, mesmo que estes se deslocassem através do mesmo meio¹⁵³. Para Filopono, não é crível que corpos diferentes alcancem velocidades distintas através dos mais diversos meios (como água e ar), e tenham velocidades idênticas ao se deslocarem no vazio. Se isso fosse verdadeiro, tratar-se-ia de desconsiderar a quantidade de matéria (massa) de cada corpo. Assim, Filopono rejeita a conclusão aristotélica contra a existência do vazio baseada na suposição de que corpos distintos atingiriam a mesma velocidade ao se deslocarem por ele. Nas palavras de Filopono:

Vamos primeiro examinar o último deles [dos argumentos] – isto é se, se nós postulamos um vazio, tudo o que se move através dele deve necessariamente se mover com igual velocidade, a partir do qual a negação do movimento através de um vazio é derivada. Para começar, deve-se objetar a isso, que ele [Aristóteles] destrói sua própria tese pelos próprios meios que ele usa para estabelecê-la. Pois se uma diferença nos movimentos ocorre não apenas por uma diferença nos meios através dos quais o movimento ocorre, mas também por uma diferença nos próprios corpos em movimento, se um é mais pesado que o outro, então claramente existe uma causa do movimento desigual nos corpos em movimento, para além da diferença no movimento que ocorre da diferença nos meios através dos quais eles se movem. Mas, se assim for, então [...] se eles se movessem através do vazio seus movimentos precisam ser diferentes, já que a causa dos movimentos que está neles é diferente. Se nós temos duas massas desiguais – digo, uma tonelada e uma libra – e se em seus movimentos no vazio não existe diferença no que diz respeito ao mais rápido e ao mais lento, mas corpos desiguais têm a mesma velocidade de movimento através de uma e mesma natureza, ou seja, o vazio, então se preenchermos esse vazio através do qual nossos corpos pesados se movem desigualmente com igual velocidade com um corpo airoso, é de se esperar que eles se movam com igual velocidade através desse ar. Pois a natureza do ar por sua introdução não adicionou nada às

¹⁵² Na tradução consultada: “But if we take the medium to be the same, and the moving bodies to be different, we shall find again, he says, that it is impossible for motion to occur in a void. When two unequal or dissimilar bodies, he says, move in the same medium in unequal times, we can state the reason: namely, that the heavier, because it parts the medium more quickly, descends in less time; and similarly in the case of bodies of equal mass but different shape, that which parts more air (that is, the broad one) descends more slowly, and that which parts less, more rapidly, since less air is parted more rapidly than more. But if the motion is through a void, since what is parted is nothing, all will move at equal speed. For why should one move faster, another slower? But it is impossible that all things should move at equal speed: hence it is impossible for motion to happen in a void”.

¹⁵³ PHILOPONUS, 2014a, p. 50, 676,6-8. Ver citação completa na página 81.

suas substâncias [da tonelada e da libra] e [nem] fez uma delas mais inclinada a cair e a outra menos. Ele [ar] não fez nada às suas substâncias, tampouco introduziu qualquer impulso maior em qualquer uma delas. Mas é impossível que corpos desiguais se movam com igual velocidade no mesmo meio¹⁵⁴ (PHILOPONUS, 2014a, p. 51-52, 677,10-30).

O raciocínio de Filopono é muito simples. Admitindo a crença aristotélica de que a quantidade de matéria dos corpos implica em diferenças em seus movimentos, Filopono aplica a regra não apenas aos deslocamentos ocorridos em meios físicos (como água e ar), mas também ao vazio, considerando-o um meio de deslocamento como qualquer outro. Dessa forma, segundo o comentador, se corpos com massas distintas caem com mesma velocidade pelo vazio, tal igualdade deveria se manter caso preenchêssemos esse vazio com ar. Filopono conclui que algo assim seria impossível, e consequentemente rejeita o argumento aristotélico da inexistência do vazio ancorado na igualdade da velocidade dos corpos sobre ele.

Na sequência, Filopono procura responder a uma possível objeção ao seu ponto de vista, dizendo que se os críticos argumentassem que corpos desiguais mover-se-iam com mesma velocidade *apenas no vazio*, apresentando velocidades distintas em um meio corpóreo, isso implicaria assumir que o meio no qual o movimento ocorre seria a única causa para a desigualdade entre os movimentos, suposição que além de contrariar a filosofia do Estagirita revelar-se-ia inteiramente falsa, dado que corpos diferentes teriam mesma velocidade caso se deslocassem pelo mesmo meio. Diz Filopono:

Se eles [críticos] ficassem mais contenciosos e dissessem “Sim, corpos desiguais se movendo através do vazio mover-se-ão com a mesma velocidade, mas através de um meio corpóreo com velocidade

¹⁵⁴ Na tradução consultada: “Let us first examine the last one – I mean whether, if we posit a void, everything that moves through it must necessarily move at equal speed, from which the denial of motion through a void is derived. To begin with, it must be objected to this, that he demolishes his own theses by the very means he uses to establish this. For if a difference in motions occurs not only from a difference in the media through which motion takes place but also from a difference in the moving bodies themselves, if one is heavier than the other, then plainly there is a cause of unequal motion in the moving bodies, over and above the difference in motion that occurs from the difference in the media through which they move. But if this is so, then [...] if they move through a void their motion must be different, since the moving cause that is in them is different. If we have two unequal masses – say, a ton and a pound – and if in their motion in a void there is no difference with respect to faster and slower, but unequal bodies have the same speed of motion through one and the same nature, viz. the void, then if we fill this void through which our unequally heavy bodies move with equal speed with an airy body, it is to be expected that they will move with equal speed through this air. For the nature of air by its introduction has not added anything to their substance and made one of them more inclined to fall and the other less. It has done nothing to their substance, nor introduced any greater impulse in either of them. But it is impossible that unequal bodies move with equal speed in the same medium”.

desigual”, então claramente o suposto corpo através do qual o movimento ocorre é a única causa do movimento desigual, já que não há diferenças sendo atribuídas aos próprios corpos em movimento. [...] Então o meio será a única causa do movimento desigual. Mas [...] isso é refutado como sendo claramente falso. Pois se isso [o meio] fosse a única causa do movimento desigual, corpos desiguais em relação aos seus impulsos devem ter se movido com velocidade igual através do mesmo meio corpóreo, se não há diferença a ser atribuída aos seus diferentes impulsos, e movimentos desiguais devem acontecer apenas quando os meios são diferentes – e isso é contrário à evidência. Pois é evidente que corpos desiguais, movendo-se através do mesmo meio, movem-se com velocidades desiguais – porque, naturalmente, as causas moventes neles são diferentes, e sendo diferentes elas devem produzir, por seu próprio arbítrio, atividades que sejam diferentes também, mesmo se elas estiverem movendo seus [...] corpos não através de um meio corpóreo, mas através de um vazio¹⁵⁵ (PHILOPONUS, 2014a, p. 52-53, 677,31-678,13).

Assim, Filopono rejeita categoricamente o argumento segundo o qual as velocidades seriam iguais no vazio e diferentes em um meio corpóreo, dado que isso implicaria tornar o meio de deslocamento o único responsável pela variação nos movimentos, desconsiderando a desigualdade entre os próprios corpos.

2.8 A queda dos corpos, segundo Filopono

Para Filopono, o peso (quantidade de matéria) de cada corpo influencia seu movimento, inclusive no vazio, ou seja, sem a resistência do meio, de modo que pode ser caracterizado como a causa *ativa* do movimento, sendo o meio a causa *obstrutiva*. Na ausência de obstrução ao movimento, a velocidade do corpo é determinada pela causa ativa, de modo que mesmo no vazio corpos de pesos diferentes também terão velocidades diferentes, contrariando a visão do Estagirita, para quem esses corpos teriam de atingir o solo no mesmo instante, por meio de um “movimento” instantâneo claramente impossível na natureza, já que a própria ideia de deslocamento implica um ponto de partida e um ponto de chegada distintos. Aristóteles alicerça sua negação do

¹⁵⁵ Na tradução consultada: “If they were to get more contentious and say 'Yes, unequal bodies moving through void *will* move at the same speed, but through a bodily medium with unequal speed', then plainly the supposed body through which the motion takes place is the only cause of the unequal motion, since there is no difference to be attributed to the moving bodies themselves. [...] So the medium will be the only cause of the unequal motion. But [...] this is refuted as being plainly false. For if this were the only cause of the unequal motion, bodies unequal in respect of their impulses must have moved with equal speed through one and the same bodily medium, if no difference is to be attributed to their different impulses, and unequal motions must come about only when the media are different — and this is contrary to the evidence. For it is evident that unequal bodies, moving through the same medium, move with unequal speed - because, of course, the moving causes in them are different, and being different they must by their own agency produce activities that are different also, even if they are moving their [...] bodies not through a bodily medium but through a void”.

vazio na hipótese de que este implicaria o “movimento instantâneo”, enquanto para Filopono *o meio é apenas um componente restritivo ao movimento*, e nunca seu propulsor, função essa que cabe ao próprio corpo por meio de seu “peso”. A distinção entre a causa ativa e a obstrutiva está expressa nos seguintes termos:

Agora, se existem duas causas do fato de que nem todos os corpos se movem com igual velocidade, a diferença do meio e a diferença dos corpos em movimento, e a causa a ser atribuída ao meio é uma causa obstrutiva, então a causa a ser atribuída à diferença nos corpos movidos deve ser uma causa ativa; pois nenhuma outra poderia ser concebida. Se, então, a obstrução é removida, ainda há, contudo, essa causa do movimento desigual que está nos corpos em movimento – a causa ativa. Pois é claro que o peso [...] é uma qualidade por si só pertencente aos corpos. Então, já que o peso é uma causa ativa do movimento para baixo, como ele [Aristóteles] também acredita, quando há uma extensão para o corpo se mover através dela – isto é, o vazio – e quando a causa ativa do movimento é diferente, e não há nada para obstruir o movimento, o movimento mesmo sendo no vazio deve inevitavelmente ser desigual. Portanto, mesmo que houvesse um vazio, o movimento desigual não seria eliminado¹⁵⁶ (PHILOPONUS, 2014a, p. 53, 678,17-31).

Observa-se que mesmo que o meio de deslocamento seja incorpóreo (no vazio), quando não há qualquer causa obstrutiva, os corpos mantêm a causa ativa de seu movimento (peso) determinando a velocidade da queda. Evidentemente, se a velocidade não é infinita nem mesmo no vazio, o movimento ocorreria em dado período, não sendo algo “instantâneo”. Conforme conclui Filopono,

mesmo que o movimento ocorresse através de um vazio, não seria necessário que todas as coisas se movessem com velocidade igual, e [...] não há coerência no argumento pelo qual Aristóteles pensa ter estabelecido isso. Com isso demonstrado, o primeiro ponto em questão também é provado ao mesmo tempo – ou seja, que é possível para o movimento através do vazio levar tempo. Pois se, em geral, os movimentos mais rápidos e mais lentos são preservados mesmo no vazio, e o mais rápido e o mais lento se distinguem pelo tempo (pois o que percorre uma determinada extensão em um tempo maior está se movendo lentamente, e da mesma forma o que leva um tempo menor está se movendo rapidamente), então, claramente, até corpos se

¹⁵⁶ Na tradução consultada: “Now if there are two causes of the fact that bodies do not all move at equal speed, the difference of the media and the difference of the moving bodies, and the cause to be attributed to the medium is an obstructing cause, then the cause to be attributed to the difference in the moving bodies must be an active cause; for one could not conceive of any other. If, then, the obstruction is removed, there remains none the less that cause of unequal motion that is in the moving bodies - the active cause. For of course weight [...] is a quality in its own right belonging to bodies. So since weight is the active cause of the motion downward, as he too believes, when there is an extension for the body to move through – I mean, void – and when the active cause of the motion is different, and there is nothing to obstruct the motion, motion even through the void must inevitably be unequal. Hence, even if there were a void, unequal motion would not be done away with”.

movendo no vazio [...] sempre levariam tempo em seus movimentos¹⁵⁷ (PHILOPONUS, 2014a, p. 55-56, 680,23-681,1).

2.9 Movimento natural e antinatural no vazio

A princípio, Filopono recapitula as considerações de Aristóteles acerca da impossibilidade de haver movimento no vazio, tanto natural quanto violento. Filopono menciona o argumento aristotélico de que no vazio não poderia ocorrer movimentos naturais, pois como o vazio é privado de diferenciação, movimentos distintos seriam impossíveis; consequentemente, movimentos antinaturais também não ocorreriam, já que teriam de ser precedidos pelos movimentos naturais para se oporem a estes. Diz Filopono:

Tendo mostrado, portanto, que se há um vazio é impossível a existência de movimento natural, ele [Aristóteles] mostra que também não é possível o movimento antinatural [...]. Pois todo movimento antinatural, ele diz, é posterior ao natural, e o antinatural é uma perversão do natural, pois não haveria um movimento antinatural e violento que não seja contrário ao natural. Visto que, portanto, é impossível para o movimento natural ocorrer se houver um vazio, é óbvio que também não é possível o antinatural. [...] Pois se, ele diz, não existe diferenciação no vazio infinito, também não haveria movimentos diferentes nele, pois na medida em que dizem que o vazio é infinito, eles eliminam o acima e o abaixo e, em geral o centro e o exterior, em direção ao qual está o movimento natural para os corpos naturais¹⁵⁸ (PHILOPONUS, 2014b, p. 38, 637,6-20).

Em seguida, Filopono se ocupa em expor a dinâmica aristotélica do movimento antinatural, que também culmina com a impossibilidade de tal movimento no vazio. Segundo o comentador, Aristóteles compreende que o deslocamento antinatural ocorre

¹⁵⁷ Na tradução consultada: “even if motion took place through a void, it would not be necessary that all things move with equal speed, and [...] there is no cogency in the argument by which Aristotle thinks he has established this. With this shown, the first point at issue is also proved at the same time — I mean, that it is possible for motion through void to take time. For if in general faster and slower motions are preserved even in a void, and faster and slower are distinguished by time (for what traverses a given extension in a longer time is slow-moving, and likewise what takes a shorter time is fast-moving), then clearly even bodies moving in a void [...] would always take time in their motion”.

¹⁵⁸ Na tradução consultada: “Having shown therefore that if there is a void it is impossible for there to be natural movement, he [Aristotle] shows that neither is unnatural movement possible [...] For every unnatural movement, he says, is posterior to the natural, and the unnatural is a perversion of the natural, for there would not be an unnatural and violent movement that was not opposed to the natural. Since therefore it is impossible for natural movement to occur if there is a void, it is obvious that neither is unnatural possible. [...] For if, he says, there is no differentiation in the infinite void, there would also not be different motions in it; for in that they say that the void is infinite, they do away with up and down and in general the centre and the outside towards which is the natural motion for natural bodies”.

de duas formas: como resultado da ação direta e simultânea do motor que causa o deslocamento¹⁵⁹; ou pela ação daquilo que não está mais em contato com o corpo movido, mas que foi responsável pelo seu lançamento, como ocorre no caso do lançador de pedras ou flechas. Nesse segundo caso, em que o motor perde o contato com o corpo movido, este move o ar durante o seu deslocamento, empurrando-o para os lados. Para Aristóteles, este ar movido pelo projétil, ao ser dispersado para os lados, acaba por ocupar o lugar anteriormente ocupado pelo corpo movido, empurrando-o e assim mantendo o seu movimento antinatural enquanto durar a força que originou o movimento. Ademais, o deslocamento do projétil também pode ser conservado quando o ar, movendo-se de forma ascendente e mais rápida do que o corpo lançado consegue se mover de forma descendente (pois após perder o contato com o motor, o corpo busca retornar ao seu lugar natural), força o projétil a continuar em trajetória antinatural, empurrando-o para o alto ao se mover por baixo dele. Em ambos os casos no qual o deslocamento ocorre por meio da ação do ar, o movimento antinatural resultante não pode ocorrer no vazio. Diz Filopono:

todo movimento não-natural acontece ou com a fonte do movimento presente e forçada, ou com aquilo que dá o ímpeto estando separado e não tocando, como no caso daqueles que jogam [pedras] e atiram [flechas]. Mas as coisas que são lançadas são movidas pela força, ou, diz ele [Aristóteles], com o ar mudando de lugar sob o poder da coisa que está sendo lançada (pois o ar é empurrado pela coisa que está sendo lançada e, sendo disperso para os lados, muda de lugar com ela [...] e então a empurra, e a mudança de lugar ocorre até que o poder da coisa lançada diminua) – um tipo de movimento antinatural, portanto, parece ser assim, e outro com o ar empurrado junto com a coisa lançada, movendo-se a uma velocidade mais rápida do que é a velocidade natural da coisa empurrada pela qual ela é transportada para o seu lugar próprio, e desta forma a empurra. [...] Dado que existem, portanto, estes dois tipos de movimento antinatural, em nenhum destes tipos pode existir movimento antinatural no vazio. Pois o vazio não pode mudar de lugar ou ser empurrado; pois o vazio não é um corpo. É impossível, portanto, existir movimento antinatural no vazio, a menos que seja como coisas sendo transportadas, ele diz, e estas são aquelas que têm o motor original acompanhando-as¹⁶⁰ (PHILOPONUS, 2014b, p. 39, 637,32-638,18).

¹⁵⁹ Em outras palavras, quando o corpo movido não perde o contato com seu motor. É o que ocorre, por exemplo, quando alguém empurra algo para cima (movimento antinatural, já que contraria a disposição do objeto de buscar o seu lugar natural, ou seja, o solo).

¹⁶⁰ Na tradução consultada: “every unnatural movement comes about either with the source of movement present and forced or with what gives the impetus being apart and not touching, as in the case of those who throw [stones] and shoot [arrows]. But the things being thrown are moved by force, or, he says, with the air changing places under the power of the thing being thrown (for the air is pushed by the thing being thrown, and, being dispersed into the sides, changes places with it [...] and so pushes it, and the change of places occurs so far until the power of the thing thrown slackens) – one kind of unnatural movement,

Ou seja, a única possibilidade de que um movimento antinatural ocorra no vazio seria quando o motor permanecesse em contato com o móvel, empurrando-o. Todavia, Filopono observa que Aristóteles negligencia o fato de que coisas são movidas ao serem carregadas, e não apenas ao serem empurradas ou substituídas por um corpo que as impulsiona (quando, por exemplo, o ar ocupa o lugar do projétil e o empurra). Para exemplificar, Filopono menciona o movimento de uma palha em um curso de água:

“coisas são movidas ao serem carregadas, como coisas na água, como quando alguma palha é carregada por água em movimento; pois esta é movida de forma não-natural nem sendo empurrada, nem pela troca de lugares na água, mas sendo carregada na água. Isto não seria chamado de movimento antinatural em sentido estrito, mas antes incidentalmente. Também não é possível para esse movimento existir no vazio; pois as coisas sendo carregadas são carregadas em um corpo, não no vazio, e deve ser difícil separar o transportador daquilo que é carregado; pois é impossível ser carregado no vazio”¹⁶¹ (*ibid.*, p. 39-40, 638,19-26).

Ademais, segundo Filopono, Aristóteles ainda aponta o problema de se determinar o término do movimento antinatural no vazio. Em um meio corpóreo, o projétil lançado interromperia sua trajetória não-natural assim que a força do ar fosse superada pela tendência natural do corpo em retornar ao seu lugar natural, mas no vazio algo assim não poderia ocorrer. Sendo assim, Aristóteles conclui pela inexistência do movimento no vazio. Nas palavras de Filopono:

E novamente, ele [Aristóteles] diz, em que ponto uma coisa em movimento irá parar? Por ora, podemos dizer que a causa de sua interrupção é devido ao esgotamento da tração do ar empurrado, mas onde e por que a coisa que se move de forma não-natural no vazio será interrompida? É necessário, então, que não haja movimento algum, ou que as coisas sejam transportadas em todas as direções, a menos que

therefore, seems to be like this, and another with the pushed air together with the thing thrown moving at a faster rate than is the natural speed of the pushed thing by which it is carried towards its own proper place, and in this way pushes it. [...] Since therefore there are these two kinds of unnatural movement, in neither of these kinds can there be unnatural movement in the void. For the void cannot change places or be pushed; for the void is not a body. It is impossible therefore for there to be unnatural motion in the void, unless it is like things being carried, he says, and these are such as those which have the original mover accompanying them”.

¹⁶¹ Na tradução consultada: “things are moved by being carried, like things on water, as when some chaff is carried on moving water; for this is moved unnaturally neither being pushed, nor by the interchange of places of the water, but by being carried on the water. This would not be called unnatural motion in the strict sense, but rather incidentally. It is not possible either for this movement to exist in the void; for the things being carried are carried on a body, not on a void, and the carrier must be difficult to separate from what is carried; for it is impossible to be carried on the void”.

algo mais poderoso impeça isso¹⁶² (PHILOPONUS, 2014b, p. 40, 638,26-639,2).

2.10 Críticas à argumentação aristotélica sobre o movimento antinatural

A argumentação a seguir concentra-se no que Cohen & Drabkin chamaram de “visões antiaristotélicas sobre o movimento ‘forçado’” (COHEN; DRABKIN, 1948, p. 221), consistindo na refutação de Filopono às duas formas através das quais o ar propiciaria a continuidade do movimento do projétil. Filopono introduz o tema nos seguintes termos:

Aristóteles mostra estas coisas, que também não era possível para o movimento forçado e não-natural ocorrer, se houvesse vazio, mas me parece que esse argumento nada tem de necessário. Pois, primeiro, na verdade nada foi suficientemente provado para satisfazer a nossa mente de que uma das razões enumeradas é um motivo de movimento não-natural e forçado. [...] Pois na troca de lugares, ou o ar empurrado à frente pela flecha ou pedra que foi lançada corre para trás e muda de lugar com a flecha ou pedra, e assim ficando para trás empurra-a, e assim por diante, até que a força da coisa lançada esteja esgotada, ou o que troca de lugar não é o que é empurrado à frente, mas [o ar empurrado] pelos lados; pois com a flecha levada pelo ar [tendo sido] originalmente impulsionada pela corda do arco, o ar dos lados muda de lugar para o lugar da flecha, e o ar, também empurrado pelo ar originalmente impulsionado, move a flecha, e desta forma fará a mesma coisa novamente no ar, trocando de lugar com a flecha e assim por diante, até a força do movimento dado originalmente se esgotar¹⁶³ (PHILOPONUS, 2014b, p. 40, 639,3-21).

Para Filopono, não havia evidências que corroborassem as duas explicações de Aristóteles para a continuidade do movimento não-natural. O primeiro caso corresponde ao que Cohen & Drabkin denominam *antiperistasis*, que segundo os referidos autores é

¹⁶² Na tradução consultada: “And again, he says, at what point will a moving thing stop? For now we are able to say that the cause of its stopping is through the exhaustion of the tension of the pushed air, but where and by what will the thing moving unnaturally in the void be stopped? It is necessary then that either there is no motion at all, or things are carried in all directions, unless something more powerful prevents it”.

¹⁶³ Na tradução consultada: “Aristotle shows these things, that it was not possible either for forced and unnatural movement to occur, if there were void, but it seems to me that this argument has nothing necessary about it. For, first, in fact nothing has been proved sufficiently to satisfy our mind that one of the enumerated senses is a cause of unnatural and forced motion. [...] For in the exchange of places either the air pushed from the front by the arrow or stone that has been thrown runs backwards and changes places with the arrow or stone, and in this way getting behind pushes it, and so on in turn, until the force of the thing thrown is exhausted, or what exchanges places is not what is pushed from the front, but that from the sides; for with the arrow pushed by the air originally pushed with it by the bowstring, the air from the sides changes place into the place of the arrow, and the air, also pushed by the air originally pushed, moves the arrow, and in this way will do the same thing again on the air changing places with the arrow and so on until the force of the movement given originally is exhausted”.

um termo “usado em geral para o processo pelo qual P_1 empurra P_2 para o lugar de P_3 , P_2 empurra P_3 para o lugar de P_4 ,..., P_{n-1} empurra P_n para o lugar de P_1 ”¹⁶⁴ (COHEN; DRABKIN, 1948, p. 221, nota 3). Na tradução do texto de Filopono, a palavra *antiperistasis* não é mencionada; em vez disso, faz-se referência à “troca de lugar”.

Em síntese, trata-se do movimento segundo o qual o projétil empurra o ar adiante, e este retorna para em seguida empurrar a flecha. No caso, a flecha representada por P_1 empurra o ar representado por P_2 para o lugar de P_3 , até o ponto em que P_n é empurrado para o lugar de P_1 , efetuando assim um movimento de retorno ao ponto inicial. Contudo, como bem observa Filopono, como seria possível que em determinado ponto do trajeto (P_n) o ar empurrado adiante não se deslocasse para frente no sentido do impulso que lhe foi dado, assim como ocorrera em todas as “trocas de lugares” precedentes, tendência que levaria P_n até P_{n+1} , mas ao invés disso realizasse justamente o movimento oposto, indo ocupar o lugar de P_1 ? Para Filopono, tal ideia é inverossímil, e implicaria a ocorrência de três movimentos distintos: o ar deveria ser empurrado para frente, voltar e depois avançar novamente:

Se, portanto, dissermos que a mudança de lugar ocorre da maneira precedente, quero dizer, o ar empurrado para a frente pela flecha troca de lugar com ela por trás e a empurra, alguém se perguntaria por que razão aquilo que forçará o ar que foi empurrado para frente, depois, sem nada se opor, retroceder, bem nas laterais da flecha e, vindo para trás, retornar e empurrar a flecha. Pois é necessário a existência de três movimentos; deve ser empurrado adiante pela flecha, em seguida retroceder e então regressar ao mesmo movimento. Entretanto, o ar se move facilmente, e quando recebe um impulso para o movimento, vai mais longe¹⁶⁵ (PHILOPONUS, 2014b, p. 40-41, 639,21-30).

A crítica de Filopono ao argumento da *antiperistasis* é que tal movimento seria demasiado sincronizado para ser real, expressando sua incredulidade ante à possibilidade de que o ar pudesse realizar o movimento contrário ao qual recebeu o impulso, mesmo sem motivo para tal e, além disso, não se dispersasse pelo meio, mas

¹⁶⁴ No original: “used in general of the process whereby P_1 pushes P_2 into P_3 ’s place, P_2 pushes P_3 into P_4 ’s place,..., P_{n-1} pushes P_n into P_1 ’s place”.

¹⁶⁵ Na tradução consultada: “If therefore we say that the change of places occurs in the former way, I mean the air pushed from the front by the arrow changes places with it backwards and pushes it, someone would wonder why what will force the air which has been pushed forwards once, with nothing opposing it, to run backwards, clearly on the sides of the arrow and, coming backwards, to turn back and push the arrow. For it is necessary for there to be three movements; it must be pushed by the arrow forwards, then run backwards, then turn back in the same movement. However, the air moves easily, and when it gets an impetus to movement it goes furthest”.

culminasse precisamente atrás da flecha, para então tornar a impulsioná-la. Para Filopono, algo assim seria fantasioso. Não obstante, ele argumenta que mesmo se o ar fosse capaz de alcançar exatamente a parte traseira da flecha, ainda assim tal movimento não ocorreria, já que enquanto o ar realizasse esse trajeto contrário, a flecha também se moveria, e quando o ar alcançasse o ponto a partir do qual pudesse impulsionar a flecha, esta não estaria mais ali, mas sim adiante. Logo, o que o ar encontraria seria o ar que acabara de empurrar a flecha, ao invés desta:

Como então que aquilo que é empurrado pela flecha não se move de acordo com o impulso que lhe foi dado, mas retrocede como em uma ordem, inclinando-se para trás da mesma maneira, e retrocedendo não se disperse no enorme abismo, mas mire precisamente no entalhe da flecha, correndo de volta para ela e a atingindo? Essas coisas são completamente inacreditáveis e são mais como ficções. Então, o ar em frente que foi empurrado pela flecha claramente faz algum tipo de movimento, e a flecha também se move continuamente. Como então é possível para o ar empurrado pela flecha trocar de lugar com a flecha e estar no lugar que a flecha deixou? Pois antes deste [ar] retroceder, tanto o ar do lado da flecha quanto aquele que fica atrás coincidem e preenchem instantaneamente o lugar deixado pela flecha através da força do vazio, e sobretudo aquele [ar] que se move atrás junto com a flecha¹⁶⁶ (PHILOPONUS, 2014b, p. 41, 639,30-640,13).

Filopono também contesta a segunda tentativa de explicar a continuidade da trajetória antinatural da flecha, que consiste na ideia de que o responsável pelo movimento desta seria o ar empurrado pelos lados, que na sequência ocuparia o lugar deixado pelo objeto. Segundo Filopono, é preferível acreditar que o ar empurre a flecha por trás, e ao se mover com rapidez mova também o ar nas laterais do projétil, ocupando o lugar desse ar e assim impulsionando a flecha, até que o ímpeto inicial para o movimento desapareça:

Respondendo à segunda hipótese, que dizia que o ar dos lados muda de lugar, e este é empurrado pelo ar que foi originalmente empurrado, digo que se o ar dos lados é realmente imóvel e muda de lugar com a flecha, e fica em seu lugar, é muito mais provável que o ar empurrando a flecha por trás e que se move rapidamente de tal modo que provoca outra troca de lugares nos lados, deve também mudar continuamente de lugar com a flecha, empurrando-a, até que o

¹⁶⁶ Na tradução consultada: “How then is it that what is pushed by the arrow does not move according to the impetus it has been given, but running backwards as on an order bends back in the same way, and running backwards is not scattered into the yawning gulf, but aiming accurately at the notch of the arrow runs back to it and grasps it? These things are entirely unbelievable and are more like fictions. Then, the air in front which has been pushed by the arrow clearly makes some kind of movement, and the arrow also moves continuously. How then is it possible for the air pushed by the arrow to change places with the arrow and be in the place which the arrow had left? For before this can run backwards, both the air from the side of the arrow and that which falls behind coincide and instantaneously fill up the place left by the arrow through the force of the void, and above all that which moves behind along with the arrow”.

princípio de movimento originalmente dado a ele expira¹⁶⁷ (PHILOPONUS, 2014b, p. 41-42, 640,26-641,7).

De fato, parece mais simples acreditar que o ar empurraria a flecha e o ar adiante do que a visão de que, em determinado momento, o ar realizaria um movimento de retorno sem uma causa aparente, e mais do que isso, culminaria precisamente na parte traseira da flecha para assim voltar a impulsioná-la. Ainda assim, para Filopono, essa hipótese mais plausível também não seria adequada para explicar a continuidade do movimento violento da flecha:

Deve-se perguntar àqueles que dizem estas coisas: quando alguém lança uma pedra, é empurrando o ar atrás da pedra que ele força a pedra a um movimento não natural, ou quem empurra dá algum poder cinético à pedra? Se então ele não dá poder à pedra, mas apenas empurrando o ar ele move a pedra, ou a corda do arco [move] a flecha, o que era a ponta da mão tocando a pedra ou o entalhe da flecha na corda? Pois seria possível, sem realmente tocá-las, mas, digamos assim, colocar a flecha em um pedaço de madeira, ou em alguma linha tênue, e igualmente a pedra, e com dez mil máquinas mover uma grande quantidade de ar, e é claro que, quanto maior a quantidade e quanto maior a força [com a qual] o ar é movido, tanto mais deveria empurrar e forçar algo para fora. Mas como nem você colocaria a flecha ou a pedra em uma linha, ou em um marco sem largura, e moveria todo o ar atrás com toda a força, nem a flecha seria movida a distância de um côvado. Se, portanto, o ar movido com grande força não seria movido, é claro que nem com aqueles que atiram pedras nem com aqueles que atiram flechas esse ar empurrado pela mão ou pela corda é o motor¹⁶⁸ (*ibid.*, p. 42, 641,13-28).

¹⁶⁷ Na tradução consultada: “In reply to the second hypothesis, which said that the air from the sides changes places, and this is pushed by the air which was originally pushed, I say that if the air from the sides is actually unmoved and changes place with the arrow, and gets into its place, it is much more probable that the air pushing the arrow from behind and moving briskly in such a way that it stirs up another exchange of places from the sides, should also continuously change places with the arrow, and push it, until the start of the movement originally given to it expires”.

¹⁶⁸ Na tradução consultada: “One must ask those who say these things: when someone throws a stone by force, is it by pushing the air behind the stone like this that he forces the stone into an unnatural movement, or does the one who pushes give some kinetic power to the stone? If then he gives no power to the stone, but only by pushing the air he thus moves the stone, or the bowstring the arrow, what was the point of the hand touching the stone or the notch of the arrow the string? For it was possible by not actually touching these, but as it were standing the arrow on a piece of wood or on some fine line, and likewise the stone, with ten thousand machines to move a great amount of air, and it is clear that by how much the greater amount, and with the greater force, the air is moved, by so much the more it ought to push and force a thing out. But as it is neither would you stand the arrow or the stone on a line or a mark actually without width, and move all the air behind with all power, nor would the arrow be moved the distance of a cubit. If therefore the air moved with greater power were not moved, it is clear that neither with those who throw stones nor with those who shoot arrows is this air pushed by the hand or the string the mover”.

Esta passagem expressa o argumento de Filopono contra a explicação aristotélica do movimento dos projéteis, baseado no entendimento de que se o ar movido a partir do movimento inicial do projétil fosse capaz de manter tal corpo em movimento, não haveria a necessidade de um lançador. Dito de outra forma, se o ar consegue mover o objeto sem que continue a ser movido pelo lançador, este seria desnecessário para que ocorresse o movimento antinatural. Contudo, Filopono nega que o ar seja dotado do poder de ser um motor autônomo para o projétil, pois se assim fosse bastaria então utilizar “dez mil máquinas” para mover uma grande quantidade de ar e somente com isso provocar o movimento violento. Admitindo que, nesse caso, qualquer que fosse a força do ar nenhum objeto seria movido, então Filopono descarta a hipótese de que o ar seja responsável pela continuidade do movimento dos projéteis.

Entretanto, Filopono apresentou uma hipótese para explicar o fenômeno da trajetória antinatural do projétil. Segundo ele, o lançador transmitiria ao projétil uma *força incorpórea*, que permitia a continuidade do movimento do corpo após a perda de seu contato com o responsável pelo movimento inicial. Filopono defende tal proposta aludindo ao fato de que seria possível perceber outras “energias incorpóreas” na natureza, tais como a luminosidade solar que ilumina os corpos quando, por exemplo, um raio de sol perpassa vidros coloridos. Assim, Filopono considera mais plausível a existência de algo incorpóreo movimentando os corpos:

“é impossível que as coisas movidas pela força se movam dessa maneira, mas é necessário que algum poder incorpóreo seja dado pelo lançador à coisa lançada, e que ou o ar empurrado não contribua nada para o movimento ou muito pouco. Se as coisas lançadas à força são movidas dessa maneira, é certamente claro que ainda que alguém atirasse uma flecha ou uma pedra à força, e de forma não natural no vazio, a mesma coisa acontecerá muito mais, e não será necessário algo empurrando de fora. Certamente este argumento não será mais difícil, sendo apoiado pelo que é óbvio (Quero dizer, que alguma força cinética incorpórea é dada pelo lançador ao que é lançado, pela qual o lançador deveria tocar o objeto que está sendo lançado), do que algumas energias que chegam aos olhos a partir das coisas vistas, como parece a Aristóteles. Pois vemos das cores algumas energias chegando de forma incorpórea e colorindo os corpos sólidos existentes diante deles, quando um raio de sol atravessa as cores, como é claro ao ver quando um raio de sol atinge os vidros coloridos [...]. É claro, portanto, que algumas energias venham incorporeamente de algumas coisas para outras¹⁶⁹ (PHILOPONUS, 2014b, p. 43, 642,4-20).

¹⁶⁹ Na tradução consultada: “it is impossible for things moved by force to move in this way, but it is necessary for some incorporeal power to be given by the thrower to the thrown thing, and that either the air pushed does not contribute at all to the movement or very little. If things thrown by force are moved in

A hipótese de Filopono marcou uma ruptura com o entendimento aristotélico acerca do movimento dos projéteis, e foi retomada por outros pensadores nos séculos seguintes.

2.11 Filosofia islâmica: Avicena, Avempace e Averróis

Em sua monumental *História da Filosofia*, Frederick Copleston (1907-1994) observa que, no que tange à filosofia islâmica, os pensadores do período podem ser divididos em dois grupos, oriental e ocidental¹⁷⁰. Segundo Copleston, Ibn Sina (980-1037), conhecido pela versão latinizada do seu nome, Avicena, foi o maior expoente do primeiro grupo¹⁷¹, enquanto Ibn Bajja (c. 1070-1138)¹⁷², ou Avempace, e Ibn Rusd (1126-1198), na forma traduzida Averróis, pertencem ao grupo ocidental, sendo este último o mais destacado desse grupo¹⁷³. Cada um deles contribuiu de alguma forma para as discussões acerca da teoria aristotélica do movimento.

2.11.1 Avicena

Cronologicamente, Avicena foi o primeiro dos filósofos islâmicos supracitados a estudar a dinâmica aristotélica. De acordo com Évora (1993, p. 90), o pensador persa desenvolveu a teoria do movimento proposta por Filopono, isto é, a ideia de que uma força incorpórea seria transmitida ao projétil na ocasião de seu lançamento, que seria responsável pela continuidade do movimento antinatural após a perda do contato com o

this way, it is surely clear that even if someone were to throw an arrow or a stone by force and unnaturally in a void, the same thing will happen much more, and it will not need something pushing from outside. Surely this argument will not be more difficult, being supported by what is obvious (I mean that some incorporeal kinetic force is given by the thrower to what is thrown, from which the thrower ought to touch the object being thrown) than that some energies arrive on the eyes from the things seen, as it seems to Aristotle. For we see from colours some energies arriving incorporeally and colouring the solid bodies existing in front of them, when a ray of the sun strikes through the colours, as is clear to see when a sunray strikes through the coloured glasses [...]. It is clear therefore that some energies come bodilessly from some things to others”.

¹⁷⁰ COPLESTON, 2021, p. 667.

¹⁷¹ *Ibid.*, p. 668.

¹⁷² Datas constantes em SARANYANA, 2006, p. 233.

¹⁷³ Para Copleston, Averróis “está para o grupo ocidental como Avicena para o oriental” (COPLESTON, 2021, p. 673).

lançador. Haveria, segundo Évora, semelhanças entre as concepções de Filopono e ideias defendidas por Avicena:

A teoria do *mayl* (inclinação), apresentada por Avicena numa longa sessão do seu *Kitâb al Shifâ* (livro da cura) tem muitos pontos em comum com a teoria da força cinética impressa e incorpórea de Philoponos. Avicena, assim como Philoponos, recusou a explicação pela *antiperistasis* e a explicação aristotélica para o movimento violento; e defendeu que algo deveria ser impresso pelo propulsor ao projétil que seria responsável pela continuidade do seu movimento (ÉVORA, 1995a, p. 296).

Percebe-se que Avicena basicamente optou pela explicação de Filopono, em desfavor da aristotélica. Conforme Évora, a “inclinação” de que fala Avicena seria correspondente à ideia de impulso (entendido aqui como a força causadora do movimento) defendida por Filopono. Ademais, Avicena acrescenta a sua teoria uma “inclinação psíquica”:

O termo *mayl* (inclinação) presente na teoria do movimento de Avicena corresponde ao termo grego *rhopê* usado frequentemente por Philoponos para designar impulso ou inclinação. Avicena acrescenta ao conceito de *rhopê* de Philoponos uma subdivisão e denomina de *mayl tabi i* a “inclinação natural” e de *mayl qsri* a “inclinação forçada”. Além do ‘natural’ e do ‘violento’, há, segundo Avicena, um terceiro tipo de *mayl* que seria o ‘psíquico’ (*ibid.*, p. 296).

Todavia, Avicena não se limitou a assumir a posição de Filopono sem fazer modificações. Primeiramente, enquanto Filopono defendeu que, no vazio, a força motriz transmitida ao projétil decairia gradualmente, provocando a cessação do movimento, Avicena acreditava que, na ausência de qualquer impedimento (como no vazio), o corpo permaneceria em movimento indefinidamente. Além disso, o pensador persa procurou estabelecer quantitativamente a velocidade de determinado corpo, sugerindo que tal grandeza dependeria do “peso”¹⁷⁴ do móvel, de modo que quanto menor o “peso”, maior a velocidade, e vice-versa; e que a distância percorrida também estaria relacionada à quantidade de matéria, que quanto maior, mais longa a trajetória, em oposição à resistência do ar. De fato, quanto maior a quantidade de matéria do projétil, mas fácil seria para que este vencesse a resistência do ar e prosseguisse seu movimento, embora com menor velocidade, dado que esta seria inversamente proporcional à massa. Sobre isso, diz Crombie:

¹⁷⁴ Nesse caso e nos demais, “peso” é entendido como a quantidade de matéria de determinado corpo, ou seja, sua massa.

O primeiro escritor árabe conhecido a ter assumido a teoria de Filopono foi Avicena, que definiu o poder conferido ao projétil [...] como ‘uma qualidade pela qual o corpo empurra aquilo que o impede de se mover em qualquer direção’. Ele também chamou isso de ‘poder emprestado’, uma qualidade dada ao projétil pelo projetor como o calor foi dado à água pelo fogo. Avicena fez duas importantes modificações na teoria. Primeiro, enquanto Filopono sustentava que até no vazio, se isso fosse possível, o poder emprestado desapareceria gradualmente e o movimento ‘forçado’ do projétil cessaria, Avicena argumentou que na ausência de qualquer obstáculo esse poder, e o movimento ‘forçado’ que produziu, persistiriam indefinidamente. Em segundo lugar, ele tentou expressar a força motriz quantitativamente, dizendo que, na verdade, os corpos movidos por determinado poder deslocar-se-iam com velocidades inversamente proporcionais aos seus pesos, e que os corpos movidos com determinada velocidade deslocar-se-iam (contra a resistência do ar) distâncias diretamente proporcionais aos seus pesos¹⁷⁵ (CROMBIE, 1961, p. 53).

Em relação ao segundo aspecto destacado acima, acerca das relações entre velocidade, “peso” e distâncias percorridas, cabe ressaltar que a discordância com a teoria de Filopono se dá porque, para este, a velocidade é proporcional à força motriz, e a quantidade de matéria não tem qualquer influência para o aumento ou diminuição dessa velocidade, e sequer para a distância percorrida. Conforme resume Évora, Filopono

“desenvolve uma lei de movimento de acordo com a qual a velocidade do movimento natural (tal como o de queda livre) e do movimento violento é proporcional à força motriz, enquanto que (*sic*) a resistência do meio apenas reduz tal velocidade. Assim, a única função do meio é retardar o movimento. Numa linguagem moderna poderíamos representar a ‘lei do movimento’ de Philoponus como: $v = (F - R)$ ” (ÉVORA, 1993, p. 89).

¹⁷⁵ No original: “The first Arabic writer known to have taken up Philoponus’ theory was Avicenna, who defined the power imparted to the projectile [...] as ‘a quality by which the body pushes that which prevents it moving itself in any direction.’ He called this also a ‘borrowed power,’ a quality given to the projectile by the projector as heat was given to water by a fire. Avicenna made two important modifications of the theory. First, whereas Philoponus had held that even in a void, if this were possible, the borrowed power would gradually disappear and the projectile’s ‘forced’ motion cease, Avicenna argued that in the absence of any obstacle this power, and the ‘forced’ motion it produced, would persist indefinitely. Secondly, he tried to express the motive power quantitatively, saying in effect that bodies moved by a given power would travel with velocities inversely proportional to their weights, and that bodies moving with a given velocity would travel (against the resistance of the air) distances directly proportional to their weights”.

2.11.2 Avempace

Por sua vez, o pensador árabe Avempace¹⁷⁶, originário do território então conhecido como Al-Andalus¹⁷⁷, defendeu que a definição de velocidade aristotélica (na qual a velocidade corresponde à razão entre força e resistência do meio) fosse substituída pela relação proposta por Filopono, isto é, considerar que a velocidade de um corpo equivale à força motriz subtraindo-se desta a resistência do meio ($v = F - R$). Nas palavras de Crombie,

“Filopono sustentava que em todos os casos, na queda de corpos e em projéteis, velocidade era proporcional apenas à força motriz, e que a resistência do meio meramente a reduzia numa velocidade finita definida. Essa ‘lei do movimento’ foi defendida pelo árabe espanhol do século 12 Ibn Badga, ou Avempace como ele foi chamado em Latim, como uma alternativa à [lei do movimento] de Aristóteles. Isso significava substituir a ‘lei do movimento’ de Aristóteles pela fórmula: velocidade (v) = potência (p) – resistência (r). Avempace argumentou que mesmo no vazio um corpo mover-se-ia com velocidade finita porque, embora não houvesse resistência, o corpo ainda teria de atravessar uma distância. Como Filopono, ele citou o movimento das esferas celestes como um exemplo de velocidade finita sem resistência”¹⁷⁸ (CROMBIE, 1961, p. 53-54).

Segundo Évora, o trabalho de Avempace nunca foi traduzido para o latim, o que não impediu que suas ideias circulassem pela Europa. Um desses meios de divulgação consistiu nos escritos de Averróis, mais precisamente “no seu comentário ao famoso texto 71 do livro IV da *Physica* de Aristóteles” (ÉVORA, 1995b, p. 83). A propagação das ideias de Avempace através da obra de Averróis ocorria porque, afinal, “ninguém na Idade Média lia Aristóteles sem uma cópia do comentário de Averroes próxima das

¹⁷⁶ O professor Josep-Ignasi Saranyana destaca que Avempace “foi o primeiro filósofo do islamismo espanhol a exercer uma influência importante no pensamento universal, especialmente em Santo Alberto Magno, Alexandre de Hales, Roger Bacon e Raimundo Lúlio” (SARANYANA, 2006, p. 233-234).

¹⁷⁷ Península Ibérica. Acredita-se que Avempace teria nascido na região de Saragoça, hoje pertencente à Espanha. Fonte: Montada, Josep Puig, "Ibn Bâjja [Avempace]", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2023 Edition), Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2023/entries/ibn-bajja/>>. Acesso em 19 de maio de 2024.

¹⁷⁸ No original: “Philoponus had maintained that in all cases, in falling bodies and in projectiles, velocity was proportional only to motive power, and that the resistance of the medium merely reduced it from a definite finite velocity. This ‘law of motion’ was advocated by the 12th-century Spanish Arab Ibn Badga, or Avempace as he was called in Latin, as an alternative to Aristotle’s. It meant substituting for Aristotle’s ‘law of motion’ the formula: velocity (v) = power (p) – resistance (r). Avempace argued that even in a void a body would move with finite velocity because, although there was no resistance, the body would still have to traverse *distance*. Like Philoponus he cited the motion of the celestial spheres as an example of finite velocity without resistance”.

mãos” (FRANKLIN, 1976, p. 19, *apud* ÉVORA, 1995b, p. 83). Assim, a teoria da força incorpórea passou a ser conhecida na Europa Ocidental como “teoria de Avempace”, e apenas na segunda metade do século XVI a autoria passou a ser creditada a Filopono¹⁷⁹.

2.11.3 Averróis

Chamado de “*Commentator*” (Comentador) por antonomásia (a exemplo de Aristóteles, referido frequentemente como “Estagirita”), em virtude de sua dedicação em comentar a obra aristotélica¹⁸⁰, Averróis aderiu à filosofia do mestre praticamente sem ressalvas, de modo que “nem sempre é possível distinguir suas glosas pessoais do texto aristotélico original” (SARANYANA, 2006, p. 235). Para Averróis, o gênio de Aristóteles era “a suprema expressão do intelecto humano” (KENNY, 2008, p. 71). Em contrapartida, prescindiu dos ensinamentos de Avicena, muito em voga naquela época, preferindo o magistério do Estagirita, “que leu sem nenhuma restrição, deduzindo todas as consequências do seu pensamento” (SARANYANA, 2006, p. 236).

Dessa maneira, é compreensível que Averróis tenha discordado da interpretação de Avempace acerca do movimento, dado que esta estava em desacordo com os ensinamentos aristotélicos, levando-o até mesmo a rejeitar a concepção de natureza advogada por Avempace, segundo a qual a natureza de determinado corpo era algo exterior a este, conforme aponta Crombie:

Em seu comentário sobre a *Física* de Aristóteles, Averróis atacou não apenas a exposição de Avempace do movimento (que ele pensava ser original), mas toda a concepção de “natureza” em que ela estava baseada. O erro de Avempace, ele [Averróis] sustentava, foi tratar a “natureza” de um corpo pesado como se ele fosse uma entidade distinta da matéria do corpo, e como se a matéria fosse movida pela “forma” atuando como uma causa eficiente da mesma maneira como uma Inteligência imaterial movia sua esfera celestial ou a “alma” causava os movimentos de um organismo vivo. Averróis especificamente se opôs ao pressuposto de Avempace que o meio era um impedimento ao movimento natural, pois isso significaria que todos os corpos reais se moviam de forma não natural, já que todos de fato se movem através de um meio corpóreo¹⁸¹ (CROMBIE, 1961, p. 54).

¹⁷⁹ ÉVORA, 1995b, p. 83.

¹⁸⁰ SARANYANA, 2006, p. 235.

¹⁸¹ No original: “In his commentary on Aristotle’s *Physics* Averroës attacked not only Avempace’s account of motion (which he thought was original) but the whole conception of ‘natures’ on which it was

Segundo Crombie, a divergência de Averróis em relação a Avempace “tornou-se a fonte de uma maior divergência nas tentativas de formular uma lei relativa às velocidades dos movimentos naturais”¹⁸² (*ibid.*, p. 54). Além disso, pontua Crombie, isso representou uma divisão no que concerne às concepções de natureza defendida pelos filósofos, com Filopono e Avempace adotando uma visão inspirada na filosofia platônica, enquanto Averróis, obviamente, inspirava-se na filosofia aristotélica. Prossegue o autor:

Filopono e Avempace seguiram Platão na busca pelas naturezas e causas reais dos fenômenos, não na experiência imediata, mas em fatores abstraídos da experiência pela razão. Pode ser que todos os corpos observados de fato se movem através de um meio; a lei de seus movimentos era, no entanto, buscada não na experiência imediata, mas pela análise abstrata que descobria o mundo real inteligível como uma idealização na qual a diversidade multifacetada do mundo da experiência era um produto composto no sentido da “aparência”. Contra isso, Averróis identificou o mundo real com o diretamente observável e o concreto, e procurou pela lei do movimento próximo aos dados da experiência em toda a sua imediata diversidade¹⁸³ (*ibid.*, p. 54-55).

A concepção averroísta da natureza, baseada na ideia de que se deveria compreender o mundo a partir dos dados empíricos, e a partir disso tirar conclusões racionais, ao invés de usar apenas a mente, ilustra a querela medieval entre nominalistas e realistas, e posteriormente a oposição entre empiristas e racionalistas. Para Crombie, tal contenda não significou apenas um conflito no âmbito da filosofia da natureza, mas também no que concerne ao método científico:

based. Avempace's mistake, he maintained, was to treat the 'nature' of a heavy body as if it were an entity distinct from the matter of the body, and as if the matter were moved by the 'form' acting as an efficient cause in the same way as an immaterial Intelligence moved its celestial sphere or the 'soul' caused the movements of a living organism. Averroës specifically objected to Avempace's assumption that the medium was an impediment to natural motion, for this would mean that all actual bodies moved unnaturally, since all do in fact move through corporeal media”.

¹⁸² No original: “became the source of a major divergence in the attempts to formulate a law relating the velocities of natural motions”.

¹⁸³ No original: “Philoponus and Avempace had followed Plato in looking for the real natures and causes, of phenomena not in immediate experience but in factors abstracted by reason from experience. It might be that all observed bodies do in fact move through a medium; the *law* of their motion was nevertheless to be sought, not in immediate experience, but by abstract analysis which discovered the intelligible real world as an idealisation of which the multifarious diversity of the world of experience was the composite product and in a sense the ‘appearance’. Against this Averroës identified the real world with the directly observable and the concrete, and looked for the law of motion close to the data of experience in all their immediate diversity”.

A conclusão da linha argumentativa de Averróis seria atribuir os fatores abstratos em que analisamos a experiência imediata aos nossos modos de pensar, ao invés das coisas pensadas; considerar esses fatores como meros conceitos ou mesmo nomes, não como descobertas de algo real. Esta foi a questão entre os “nominalistas” e “realistas” na Idade Média e entre os “empiristas” e “racionalistas” nos séculos XVII e XVIII. Isso representa uma grande diferença não apenas na filosofia da natureza, mas no método científico. Certamente Averróis e seus seguidores ocidentais viam o seu empirismo rente como uma verdadeira expressão dos métodos aristotélicos, enquanto Avempace foi descrito por Alberto Magno e Tomás de Aquino como um platônico, e Galileu reivindicaria seu método de idealização matemática como um triunfo de Platão sobre Aristóteles. Os métodos aplicados pelos diferentes lados do debate nos séculos XIII e XIV podem ser vistos a partir destes dois pontos de vista, embora as contribuições positivas ao problema do movimento de forma alguma vieram todas de um lado¹⁸⁴ (CROMBIE, 1961, p. 55).

2.12 Roberto Grosseteste

Roberto Grosseteste (c. 1168-1253) também se dedicou a comentar a *Física* de Aristóteles, especialmente no que concerne ao movimento. No tratado “*Sobre a finitude do movimento e do tempo*” (*De finitate motus et temporis*), Grosseteste apresenta e comenta as razões pelas quais o Estagirita defendeu a perpetuidade do movimento. Com efeito, Aristóteles considera que o movimento circular é o único tipo de mudança contínua e eterna, isto é, que sempre existiu e continuará existindo indefinidamente¹⁸⁵. Conforme Grosseteste, Aristóteles argumenta que se o movimento não é perpétuo, existiu então um primeiro movimento, que por não ter sido precedido por outro movimento, teria de ser algo que passou a existir *depois* de não ter existido. Tratar-se-ia então da passagem de um movimento em *potência* para um movimento em *ato*; contudo, essa transição da potência ao ato caracterizaria por si só uma mudança, uma passagem do “antes” ao “depois” – em outras palavras, um movimento. Evidentemente,

¹⁸⁴ No original: “The conclusion of Averrões’ line of argument would be to attribute the abstract factors into which we analyse immediate experience to our ways of thinking rather than to the things thought of, to regard these factors as mere concepts or even names, not as discoveries of something real. This was the issue between the ‘nominalists’ and ‘realists’ in the Middle Ages and between the ‘empiricists’ and ‘rationalists’ in the 17th and 18th centuries. It represents a major difference not only in philosophy of nature but in scientific method. Certainly Averrões and his Western followers saw their close empiricism as a true expression of Aristotelian methods, whereas Avempace was described by Albertus Magnus and Aquinas as a Platonist, and Galileo was to claim his method of mathematical idealisation as a triumph for Plato over Aristotle. The methods applied on the different sides of the debate in the 13th and 14th centuries can be seen from these two points of view, although the positive contributions to the problem of motion by no means all came from one side”.

¹⁸⁵ ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 261b27. Trecho já citado no final do tópico 1.4 (O corpo primário: éter), página 25.

trata-se de uma contradição, na qual o primeiro movimento passa da potência ao ato mediante movimento anterior ao primeiro movimento. Nas palavras de Grosseteste:

O primeiro argumento que Aristóteles apresenta para provar a perpetuidade do movimento é este: ou o movimento é perpétuo, ou existiu um primeiro movimento antes do qual não existiu outro. Se existiu um primeiro movimento antes do qual não existiu outro, logo esse outro movimento existiu depois de não ter existido. Mas tudo o que é depois de não ter sido, antes foi em potência, porque tudo o que é e antes não foi, foi em potência. Ora, tudo o que passa da anterior potência ao ato não passa ao ato senão por um movimento precedente. Se, portanto, o primeiro movimento passa da anterior potência ao ato, não passa ao ato senão por um movimento precedente. Logo, se o primeiro movimento passou da potência ao ato, um outro movimento precedeu o primeiro movimento, e assim o primeiro movimento não é o primeiro movimento, o que é inconveniente (GROSSETESTE, 2016, p. 105).

Dito isso, Grosseteste esclarece que qualquer processo mediante o qual alguma coisa passa da potência ao ato consiste em uma espécie de movimento. Segundo o filósofo, quando algo permanece em potência, isso se deve ao fato de que ainda não há uma causa eficiente, ou porque esta é insuficiente ou está impedida de agir. Além disso, a passagem ao ato também não ocorre quando o que virá a ser sequer encontra-se em potência (ou seja, quando não há a causa material sobre a qual a causa eficiente agirá transformando a primeira em ato); ou quando, apesar de existir, a causa material encontra-se separada da causa eficiente. Em todos esses quatro casos, o processo pelo qual a potência se tornará ato consiste em uma forma de movimento, conforme explica Grosseteste:

Ora, se o agente ainda não existe, é preciso que se faça [existir] por movimento. Se é insuficiente, é preciso que se torne suficiente por movimento. Igualmente, se aquilo em que o agente pode agir ainda não existe, ou se estão separados um do outro, é necessário que aquilo de qualquer maneira se faça [existir] por movimento ou que ambos separados se juntem por movimento (*ibid.*, p. 105).

Em seguida, Grosseteste relaciona movimento e tempo, afirmando que toda ação temporal deve ser precedida necessariamente por um movimento. Como qualquer mudança (seja esta local, quantitativa, qualitativa, etc.) pressupõe a passagem de um “antes” para um “depois”, qualquer movimento também depende obrigatoriamente do decurso do tempo. A interdependência de movimento e tempo postula a existência de uma série infinita de instantes, mas Grosseteste dribla essa dificuldade dizendo que

“tudo o que se realiza é necessário que seja reduzido a um movimento contínuo circular” (GROSSETESTE, 2016, p. 107).

Todavia, o filósofo defende que tal movimento teve um início, divergindo assim da concepção aristotélica da eternidade do movimento. Tal posicionamento é claro quando Grosseteste diz que “o mundo, o tempo e o movimento existiram depois de não terem existido, e, antes que fossem, foram em potência, de modo que fique designada a anterioridade da eternidade com relação ao tempo” (*ibid.*, p. 109). Sendo “anterior” ao próprio tempo, a eternidade não seria algo que precedeu temporalmente o tempo. Assim como o mundo e o movimento, o tempo passou da “potência” ao “ato” em determinado instante. Segundo Grosseteste, essa “potência” não deve ser entendida como uma causa material, mas como causa eficiente. Ou seja, o que estava em “potência” antes da existência do mundo, do tempo e do movimento seria algo como a *capacidade* de tais coisas existirem (tornarem-se ato), e não uma espécie de ente que “repousava” na eternidade:

Todavia, a proposição “tudo o que passa da anterior potência ao ato”, etc., é verdadeira se significar anterioridade temporal, e assim fica aprovada a proposição. Mas se significa a anterioridade das coisas eternas em relação às [coisas] temporais, esse mesmo raciocínio de Aristóteles, já mencionado, mostra que não existiram [entes] móveis que antes repousavam no tempo infinito e começaram a mover-se (*ibid.*, p. 109).

De fato, a proposição “tudo o que passa da anterior potência ao ato” é verdadeira em relação à passagem de um tempo anterior para um tempo posterior, para qualquer coisa ordinária no mundo. Porém, antes de existir o tempo, o mundo e o movimento, a *capacidade* dessas coisas existirem (causa eficiente) existia em potência na eternidade. Ou seja, trata-se da anterioridade da coisa que cria, e não da coisa criada. Essa causa eficiente sempre existiu, está fora do tempo, e continua existindo perpetuamente de forma concomitante ao tempo. Isso parece estar em consonância com o pensamento de Averróis, mencionado por Grosseteste:

“o primeiro movimento é movido e o primeiro motor move perpetuamente segundo a mesma disposição pela qual um ora move e o outro ora é movido; e a intenção é, segundo Averróis, demonstrar que [o primeiro movimento] sempre existiu e existirá na disposição em que agora existe” (GROSSETESTE, 2016, p. 111).

Segundo Grosseteste, Aristóteles argumentou que ao se admitir que o movimento teve um início, “o seu não-ser precedeu o seu ser, porque em tudo o que tem início, o seu não-ser precedeu o seu ser” (GROSSETESTE, 2016, p. 111). Para o Estagirita, tal coisa não seria possível, pois implicaria que o não-ser do movimento teria existido desde a eternidade, não tendo um início. A consequência disso seria que o próprio ser do movimento também não teria início, algo impossível. Ademais, se o movimento teve um início, “o seu ser e o seu não-ser se dividem segundo a anterioridade e a posterioridade” (*ibid.*, p. 111). Contudo, tal divisão requereria a existência do tempo, para que o movimento em *potência* (não-ser) pudesse vir a ser em *ato*. Como o tempo não pode prescindir do movimento para existir, deveria haver um movimento para que o movimento pudesse existir, o que é absurdo. Nas palavras de Grosseteste: “não há anterior e posterior sem tempo. Logo, com a anterioridade do movimento do não-ser houve tempo. Mas não houve tempo sem movimento. Logo, antes do movimento *simpliciter* houve movimento, o que é impossível” (*ibid.*, p. 111). No entanto, Grosseteste aponta um erro no raciocínio aristotélico exposto acima, dado que

“o intelecto não distingue entre a anterioridade do tempo e a anterioridade que significa a ordem da eternidade em relação ao tempo. De fato, não é o tempo sem início, nem sequer o tempo, que mede o não-ser do mundo e das coisas que começaram com o mundo, mas a eternidade. Logo, o seu não-ser não existiu antes, isto é, ‘num tempo anterior’, do que o seu ser, mas existiu antes, isto é, ‘numa medida superior ao seu ser’, porque o seu não-ser existiu na eternidade e o seu ser no tempo” (*ibid.*, p. 111 e 113).

Nessa passagem, Grosseteste ressalta a diferença entre *tempo* e *eternidade*, argumentando que o não-ser do mundo e das coisas (incluindo-se também o próprio tempo, embora não mencionado expressamente no trecho acima), ou seja, a “existência” dessas coisas em *potência* não se dá temporalmente (afinal, o próprio tempo vem a ser apenas com o advento do mundo, como uma das “coisas” relacionadas a este, assim como o movimento), mas na *eternidade*. Em suma, enquanto estavam em *potência*, as coisas existiam na eternidade, e quando elas passam a existir em *ato*, tal surgimento se dá no tempo. Assim, o próprio tempo, ao surgir, surge no primeiro instante de tempo. A eternidade não existe “antes” do tempo, mas é algo que transcende e abarca o próprio tempo.

Na sequência, Grosseteste comenta outra objeção aristotélica à finitude do movimento e do tempo. Considerando que “todo instante é continuação do passado e do futuro” (GROSSETESTE, 2016, p. 113), a existência do instante pressupõe um tempo anterior e um tempo posterior, o que para Aristóteles significa que “existiu tempo sem início e existirá sem fim” (*ibid.*, p. 113). Contudo, a existência do tempo pressupõe que também exista o movimento; sendo que um tempo sem início e sem fim requer que o movimento também não seja limitado temporalmente, ou seja, um movimento perpétuo. Grosseteste contesta tal argumento, afirmando ser equivocada a definição do “instante” supracitada. Ao invés disso, ele defende que existiu “um instante primeiro e talvez existirá um último no tempo, assim como existem pontos no fim de uma linha, apesar de Aristóteles, Averróis e outros comentadores considerarem isso inconveniente” (*ibid.*, p. 113). Ademais, Grosseteste discorda dos comentadores de Aristóteles que defendem que o movimento circular é desprovido de um instante inicial, dado que também não possuiria um primeiro movimento. Afinal, diz Grosseteste,

“no movimento circular existe um primeiro, tal como nos demais movimentos. Ora, é evidente que toda parte não esférica do movido circularmente tem início no movimento próprio a si mesma. E afirmo que a esfera inteira movida circularmente move-se *per se*, e não apenas *per accidens*, pelo fato de que as suas partes se movem *per se* e porque se movem também localmente, como diz Aristóteles” (*ibid.*, p. 113 e 115).

O argumento de Grosseteste a favor de um movimento circular inicial é o de que se determinada esfera fosse dividida em duas ou mais partes, o movimento de cada uma dessas partes não esféricas também seria circular. Se considerarmos, então, uma esfera dividida em quatro partes, em cada um dos quadrantes o movimento iniciar-se-ia em um ponto e terminaria em outro, e seria circular, mas não perpétuo. As partes da esfera, portanto, mover-se-iam circularmente, por sua própria natureza, de modo que, ao comporem novamente a esfera, executariam movimento circular, sendo este iniciado em uma das partes reunidas. Assim, pensa Grosseteste, haveria um ponto de partida no movimento circular da esfera.

De acordo com Grosseteste, existem duas maneiras pelas quais o movimento local ocorre: a primeira consiste simplesmente em uma mudança de lugar, transferir-se de um ponto a outro; no segundo caso, a coisa permaneceria no mesmo lugar, mas sofreria uma mudança qualitativa, transformando-se de algum modo. Segundo o autor, o

céu executaria esse segundo movimento, ou seja, alteraria o seu modo de ser sem mudar de lugar. Assim, a partir do momento de sua criação, o céu sofreu transformações, retornando para o ponto inicial ao final de determinado período. De fato, devido ao seu movimento circular, o céu obrigatoriamente retornaria ao ponto de partida ao final de sua trajetória de modificações. Grosseteste expõe tal ideia da seguinte maneira:

Mas o mover-se localmente, como diz Averróis, se dá de dois modos: move-se localmente, porque transita de um lugar para outro, e isto é mudar de lugar segundo o sujeito; ou porque agora é diferentemente de como era antes e [será] depois no mesmo lugar, e isto é mudar de lugar não segundo o sujeito, mas formalmente; e, desse modo, move-se o céu localmente e *per se*. E em tal movimento *per se* está o ter início, e o início é o modo de ser do céu no seu lugar, no qual esteve na sua criação, do qual modo de ser no seu lugar continuamente se afastou após sua criação e renovou todos os modos de ser no mesmo lugar, e ao fim de uma revolução qualquer retornou o céu ao primeiro lugar (GROSSETESTE, 2016, p. 115).

Ainda acerca da concepção aristotélica da eternidade do movimento, Grosseteste afirma que “Aristóteles demonstra que o movimento é incorruptível, perpétuo quanto ao posterior, e não é interrompido por repouso, nem haverá após o movimento um repouso no tempo infinito” (*ibid.*, p. 117). Contudo, é importante ressaltar que o único movimento eterno na filosofia de Aristóteles é o movimento circular¹⁸⁶, ou seja, o movimento dos corpos celestes. Para Grosseteste, pressupor que sempre haverá um movimento futuro “supõe a imagem de um tempo após todo tempo, e tal imaginação é falsa, se ficar estável o céu [ao final dos tempos]” (*ibid.*, p. 117). Ou seja, para o filósofo, mesmo o movimento celeste pode se extinguir, algo que estaria associado ao fim dos tempos.

Na avaliação de Grosseteste, a incompreensão dos filósofos sobre a finitude do movimento e do tempo origina-se de uma visão errônea acerca da eternidade. Segundo o autor, Aristóteles e outros filósofos enxergaram a eternidade sob o prisma temporal, ao invés de considerá-la como sendo essencialmente simples. Para Grosseteste, “a eternidade simples do primeiro motor [...] se mantém segundo uma só disposição, mas [...] varia temporalmente as coisas mutáveis” (*ibid.*, p. 117). Em outras palavras, o primeiro motor é eterno, imutável e intemporal, enquanto os movimentos causados por ele existem temporalmente. Logo, poder-se-ia conceber movimentos que tiveram um

¹⁸⁶ Sobre esse ponto, consultar o último parágrafo do tópico 1.4 (p. 24-25), bem como a nota de rodapé nº 28 (p. 25).

início e terão um final, em contraposição à tese aristotélica da perpetuidade do movimento circular. Em suma, Grosseteste defende que o primeiro motor é perpétuo, mas que o movimento e o tempo não o são. Segundo o autor, Aristóteles e outros filósofos

“sabem seguramente que a eternidade é simples e, contudo, não compreenderam claramente essa mesma eternidade simples, mas, sob o fantasma da extensão temporal, viram-na como que observando de longe, e seguindo o fantasma da extensão temporal, afirmaram muitas coisas inconvenientes, tal como sobre a perpetuidade do movimento, do tempo e (por conseguinte) do mundo” (GROSSETESTE, 2016, p. 119).

Na visão de Grosseteste, o erro dos filósofos no tocante à natureza da eternidade se dá porque eles estavam presos às coisas transitórias e mutáveis, ao invés de direcionarem sua atenção para as coisas eternas. Assim, o entendimento desses filósofos não poderia ir além da compreensão de coisas limitadas temporalmente, impedindo-os de conceber a eternidade como algo simples e não limitado temporalmente. Diz Grosseteste:

Ora, os filósofos tinham de incorrer nesse erro, uma vez que o entendimento ou a visão [*aspectus*] da mente não pode subir mais alto do que sobem seus afetos [*affectus*], e assim, como os afetos dos filósofos estavam presos mais às coisas transitórias do que às eternas, a sua capacidade apreensiva, detida nos fantasmas das coisas mutáveis, não pôde alcançar a simplicidade da eternidade (*ibid.*, p. 119).

Grosseteste conclui o seu pequeno tratado reportando-se a um argumento de Ricardo de São Vítor¹⁸⁷, segundo o qual não haveria um tempo passado infinito, já que tudo o que é passado anteriormente foi presente. Supondo-se um primeiro instante presente, este não poderia ser precedido por um instante passado, mas se tornaria um instante passado anterior a um segundo instante presente. Assim, conclui Grosseteste, o passado é finito. Em suas palavras:

O mestre Ricardo de São Vítor, no entanto, argumenta que o tempo não é infinito quanto ao anterior, ou seja, todo o tempo até agora é passado, mas tudo o que é passado foi alguma vez presente. Logo,

¹⁸⁷ Ricardo de São Vítor (falecido em 1173) foi um filósofo e teólogo escocês que foi subprior (1157) e posteriormente prior (1162) da Abadia de São Vítor, em Paris. Segundo Copleston, Ricardo “sucedeu a contento a Hugo de São Vítor, e, como este, insistia no emprego da razão na busca e investigação da verdade” (COPLESTON, 2021, p. 654).

nada no tempo é passado que não fora presente; logo, algo foi presente antes que fosse passado. E, assim, o passado é finito (GROSSETESTE, 2016, p. 119 e 121).

A partir da argumentação de Ricardo acerca do passado, Grosseteste faz uma analogia em relação ao futuro, defendendo sua finitude com base na ideia de que tudo foi criado para o usufruto do homem, e a partir do momento em que o ser humano não necessitar mais das mudanças possibilitadas pelo movimento do céu, este deixaria de se mover, e todo movimento e tempo não existiriam mais. Grosseteste conclui dizendo:

De modo semelhante é possível argumentar acerca do futuro: pois, embora aquele mestre [Ricardo de São Vítor] não se refira ao futuro, alguns provam que o tempo é finito quanto ao posterior da seguinte maneira: tudo foi criado por causa do homem; logo, o movimento do céu existe para que, por meio dele, haja contínua geração e corrupção, na medida em que essas e outras mudanças auxiliam o homem. Quando o homem, pois, não precisar mais dessas mudanças, não haverá a causa pela qual o céu se move. O céu, portanto, ficará estável, e o movimento e o tempo terão seu fim, quando cessar a geração humana (*ibid.*, p. 121).

Em síntese, para o autor, o movimento e o tempo são finitos, existem em função do homem, extinguindo-se quando este não for mais suscetível a quaisquer transformações. Trata-se, naturalmente, de uma conclusão teológica, conforme observa Sidney Silveira na última nota de rodapé ao texto de Grosseteste:

Grosseteste, além de cientista, foi teólogo, e nada mais congruente com a sua formação do que encerrar este denso tratado acerca do movimento com uma pressuposição teológica: o movimento dos céus cessará quando o homem não mais necessitar dele, sob nenhum aspecto, para viver. Em suma, Grosseteste está a referir-se ao estado glorioso no qual os bem-aventurados não estarão sujeitos a mutações de nenhuma natureza (*ibid.*, p. 121, nota 45).

2.13 Crítica de Tomás de Aquino à física aristotélica

Assim como fizera Grosseteste, Tomás de Aquino (1225-1274) também criticou a concepção aristotélica da eternidade do tempo e do movimento, em seu *Comentário à Física de Aristóteles (In octo libros Physicorum expositio)*, desenvolvendo sua argumentação no decorrer da Lição 2 acerca do Livro VIII da *Física* do Estagirita, que compreende as passagens 251a8 até a 252a3 do texto aristotélico. Nessa lição, Tomás apresenta e discute os argumentos de Aristóteles em favor da eternidade do movimento,

destacando a relação deste com o tempo. A interdependência do tempo e do movimento é sustentada pelo Estagirita da seguinte maneira:

[...] como pode existir um antes e um depois quando o tempo não existe; ou tempo quando não existe movimento? Se o tempo é o número do movimento, ou ele mesmo um movimento, e se o tempo existe sempre, o movimento deve ser eterno¹⁸⁸ (ARISTOTLE, *Physics*, 1936, 251b10-13).

Em suma, Aristóteles defende que a eternidade do tempo pressupõe que o movimento também deve ser eterno. Tomás de Aquino comenta essa passagem no seu trabalho, explicando que o Estagirita demonstra a necessidade da existência do tempo e, a partir dela, do movimento. Diz Tomás:

[...] o Filósofo estabelece duas coisas [...]. A primeira é que não pode haver antes e depois, a menos que haja tempo. Pois o tempo nada mais é do que o antes e o depois segundo os quais as coisas são contadas. A segunda é que não pode haver tempo a menos que haja movimento. Isso ficou evidente a partir da definição de tempo dada no Livro IV, na qual afirma-se que o tempo é o número do movimento em relação ao antes e depois. [...] Qualquer que seja a verdade, segue-se que esta condição é verdadeira: se o tempo é eterno, então o movimento deve ser eterno (AQUINO, 2024, p. 215).

Ou seja, como o tempo quantifica o movimento no que concerne à passagem de um momento anterior para um momento posterior, segue-se que o movimento também precisa existir. Se o tempo for eterno (isto é, se houver uma infinidade de momentos “anteriores” e “posteriores”), o movimento também deve sê-lo, pois aqui ele é entendido como a passagem entre o “antes” e o “depois”. Assim, de acordo com Tomás, Aristóteles imagina ter estabelecido o argumento pelo qual tempo e movimento são eternos.

Prosseguindo com sua argumentação, o Estagirita busca reforçar a sua hipótese da eternidade do tempo e do movimento a partir de uma consideração acerca da natureza do tempo presente, ou seja, do “agora”. Segundo Aristóteles, o último momento de cada intervalo de tempo consiste em um “agora” e, portanto, não pode ser o último instante de todo o tempo, já que a existência de um “agora” pressupõe que haja

¹⁸⁸ Na tradução consultada: “[...] how can there be a before and after when there is not time; or time when there is not motion? If time is the number of motion, or itself a motion, and if there is always time, motion must be eternal”.

um momento anterior e outro posterior. Em suma, o “agora” representa o fim do passado e o início do futuro, conforme o Estagirita destaca na *Física*:

Se então é impossível para o tempo ser ou ser concebido sem o agora, e o agora é um meio, o início do futuro e o fim do passado, o tempo deve ser eterno; pois o fim de qualquer tempo que pode ser suposto ser o último será em um agora [...] e, portanto, terá tempo em ambos os lados dele [do “agora”]. Mas se o tempo é eterno, assim é o movimento, uma vez que o tempo é um atributo do movimento¹⁸⁹ (ARISTOTLE, *Physics*, 1936, 251b19-27).

Em suas considerações a respeito da passagem acima, Tomás compara a ideia do tempo a uma linha, enquanto o “agora” seria algo como um ponto nessa linha. Segundo ele, assim como não seria possível conceber uma linha sem o ponto, analogamente o tempo não poderia ser pensado sem a existência do “agora”. Após tal comparação, Tomás demonstra que, dada a natureza do “agora”, que pressupõe a existência de tempo tanto antes quanto depois, concluir-se-ia que o tempo é eterno. Dado que, para Aristóteles, o tempo é o número do movimento, este também deveria ser eterno. Explica Tomás:

É impossível afirmar que o tempo exista sem o “agora”, assim como é impossível existir uma linha sem o ponto. Além disso, o “agora” é certo intermediário por ter a natureza tanto de um começo quanto de um fim, ou seja, o começo do futuro e o fim do passado. A partir disso, parece que o tempo deve ser eterno. Seja qual for o tempo gasto, seu extremo em ambos os lados é um “agora”. Disso fica evidente a razão por que nenhuma parte do tempo está em ato, exceto o “agora”. Pois o que passou já se foi, e o que é futuro ainda não é. Além disso, o “agora” que é tomado como a extremidade do tempo é um começo e um fim, como foi dito anteriormente. Portanto, em ambos os extremos de qualquer tempo, sempre deve haver tempo. Da afirmação de que o tempo é eterno o Filósofo conclui que o movimento deve ser eterno. E ele dá a razão para esta conclusão. O tempo é certa propriedade do movimento, pois é o seu número, como foi dito anteriormente (AQUINO, 2024, p. 215-216).

Após a explanação do argumento aristotélico da eternidade do tempo e do movimento, Tomás empreende sua crítica. Primeiramente, ele reflete sobre a analogia que acabara de propor, ou seja, a que comparava a natureza do “agora” com a do ponto. Aquino nota que o ponto não pode ser pensado como um intermediário na totalidade das vezes, já que haveria um ponto inicial e um ponto final. Para que todos os pontos sejam

¹⁸⁹ Na tradução consultada: “If then it is impossible for time either to be or to be conceived without the now, and the now is a mean, the beginning of the future and the end of the past, time must be eternal; for the end of any time that may be supposed to be the last will be in a now [...] and therefore will have time on both sides of it. But if time is eternal, so is motion, since time is an attribute of motion” ().

considerados intermediários, seria necessário pressupor uma linha infinita. Em outras palavras, a infinitude da linha é o pressuposto, e não a conclusão da ideia de que todo ponto seria um início e um fim; tal ideia decorre da infinitude da linha, e não o contrário. Analogamente, Tomás nota que não é possível pressupor que o tempo é eterno a partir da ideia de que o “agora” é um começo e um fim, mas o inverso disso, ou seja, é necessário admitir a eternidade do tempo para que o “agora” possa ser pensado como o início e fim de determinado tempo. Assim, segundo Tomás, Aristóteles admitiu previamente a conclusão que queria demonstrar (ou seja, a eternidade do tempo) ao considerar a natureza do “agora” como um princípio e um fim, simultaneamente:

Parece, porém, que o argumento de Aristóteles não é eficaz. Pois o “agora” está relacionado ao tempo como um ponto está relacionado a uma linha, como foi explicado no Livro VI. Mas a natureza de um ponto não é intermediária. Em vez disso, há o ponto que é apenas o começo de uma linha e outro que é apenas o fim. Ocorre, porém, que todo ponto é um começo e um fim na medida em que faz parte de uma linha infinita. Não se pode provar, portanto, que uma linha é infinita porque cada ponto é um começo e um fim. Pelo contrário, pelo fato de uma linha ser infinita, pode-se provar que todo ponto é um começo e um fim. Portanto, todo “agora” será um começo e um fim apenas se for admitido que o tempo é eterno. Parece, portanto, que ao assumir isso, Aristóteles pressupõe a eternidade do tempo, que ele deveria provar (AQUINO, 2024, p. 216).

Segundo a crítica de Tomás, verifica-se que Aristóteles comete uma petição de princípio (*petitio principii*) ao tentar deduzir que o tempo é eterno a partir da concepção de que o “agora” é um começo e um fim, dado que esta premissa só pode ser considerada verdadeira se a conclusão que se busca for verdadeira.

Mais adiante, Tomás se volta para a análise da hipótese aristotélica de que o movimento é eterno, já que uma de suas propriedades (o tempo) é infinita. De fato, pontua Tomás, “o argumento retirado do tempo concluiu que o movimento nunca começou e que nunca cessará” (*ibid.*, p. 217). Ademais, a eternidade do movimento é dada porque não se poderia pensar em um movimento sem causa, de modo que um “primeiro movimento” seria algo impossível, já que teria de ser precedido por alguma mutação, ou seja, por outro movimento. Da mesma forma, poder-se-ia afirmar que o movimento é incorruptível, já que, segundo a interpretação de Tomás, Aristóteles afirma que haveria uma mutação mesmo após um movimento dado como o último. Diz Tomás:

O Filósofo diz, portanto, que o mesmo argumento que prova que o movimento nunca começou também pode ser usado para provar que o movimento é incorruptível, isto é, que o movimento nunca cessará. Pois assim como se segue que, se há um começo do movimento, houve alguma mutação antes da mutação dada como primeira, assim também se é sustentado que o movimento cessa em algum momento, seguir-se-á que haverá alguma mutação após a mutação que foi dada como última (AQUINO, 2024, p. 217).

De modo mais específico, trata-se da ideia de que “se o movimento teve um começo, os sujeitos móveis e motores começaram ou sempre existiram” (*ibid.*, p. 217). Logo, o “primeiro movimento” seria precedido por outro movimento (geração). Analogamente, “se for concedido que o movimento cesse, então os sujeitos móveis e motores cessarão” (*ibid.*, p. 217), de modo que o “último movimento” precederá outro movimento (corrupção). Assim, continua Tomás:

Com base nessa suposição, o Filósofo diz que o movimento em ato e o sujeito móvel não cessarão ao mesmo tempo. Em vez disso, assim como a geração do sujeito móvel é anterior ao seu movimento, a corrupção será posterior à cessação de seu movimento. E isso é evidente porque um combustível permanece depois que a queima é interrompida (*ibid.*, p. 217).

No tocante à eternidade do movimento, a objeção tomista assume claramente a sua motivação religiosa: tal ideia é contrária à fé cristã, para a qual tudo que existe foi criado, excetuando-se Deus. Como explica Tomás, a eternidade de Deus não pressupõe que o movimento também seja eterno, já que Deus seria imóvel:

Uma parte da sua posição [de Aristóteles] entra em conflito com a nossa fé; a saber, que sempre houve movimento. Pois, de acordo com a nossa fé, nada sempre existiu, exceto Deus, que é totalmente imóvel; a menos que alguém queira dizer que o movimento é o intelecto divino. Mas esse significado de movimento é equívoco. Pois Aristóteles não trata aqui deste tipo de movimento, mas o movimento em seu sentido próprio (*ibid.*, p. 217).

Entretanto, diz Tomás, “a outra parte de sua posição [de Aristóteles] não é totalmente contrária à fé” (*ibid.*, p. 217). Com isso, o autor quer dizer que apenas a suposição de um movimento que não teve início contradiz a fé cristã, algo que não ocorre com a hipótese de que o movimento possa persistir eternamente. O que inquieta Tomás é a noção de um movimento não-criado, que colocaria em xeque a ideia de um Criador; contudo, aceitava a tese de que um movimento não teria fim. Assim, uma vez

criado, dado movimento poderia existir para sempre, sem que isso ameaçasse a crença religiosa cristã. Afinal,

“ainda de acordo com nossa fé, admitimos algumas substâncias no mundo que começaram, mas nunca deixarão de existir, pois alguns movimentos sempre existirão, especialmente nos homens, que permanecerão vivendo uma vida incorruptível, sejam estes condenados ou abençoados” (AQUINO, 2024, p. 218).

Dito isso, Tomás ainda tenta conciliar a fé com a crença aristotélica de que o movimento não foi gerado. Para isso, ele defende que a tese do Estagirita não prova que o movimento não teve um início, mas sim que a natureza não gerou o movimento. Com isso, retirando da natureza a prerrogativa de ser a origem do movimento, e admitindo que este teve um começo, Tomás prepara o caminho para identificar o primeiro movente aristotélico como sendo Deus. Pontua Tomás:

[...] se considerarmos corretamente os argumentos apresentados aqui, a verdade da fé não pode ser efetivamente oposta a tais argumentos. Pois argumentos desse tipo são eficazes para provar que o movimento não começou por meio da natureza, como alguns sustentaram. Mas estes argumentos não provam que o movimento não começou (no sentido de que as coisas foram produzidas pelo primeiro princípio das coisas) como sustenta a nossa fé. [...] Pois quando alguém pergunta se os motores e os sujeitos móveis sempre existiram ou não, ou se nem sempre houve movimento, deve-se responder que sempre houve o primeiro motor. Todas as outras coisas, sejam motores ou móveis, nem sempre existiram, mas começaram a ser a partir da causa universal de todo o ser. Além disso, foi demonstrado acima que a produção de todo o ser pela primeira causa do ser não é o movimento [...]. Assim, portanto, não se segue que antes da primeira mutação houve outra mutação (*ibid.*, p. 218).

Assim, admite-se um primeiro movimento, antes do qual não houve qualquer outro, excluindo-se a tese de que a cadeia causal de movimentos seria uma série infinita, sem início ou fim. O movimento inicial consiste simplesmente na ação do primeiro movente imóvel que, não sendo ele próprio um movimento, dá início a série de movimentos. Segundo o autor, tal série estende-se de modo *ad eternum*, já que, como dito acima, Tomás acreditava que alguns movimentos sempre existirão.

Na sequência, Tomás retoma a sua discussão acerca da eternidade do tempo. Evidentemente, o autor considera que Deus é “um agente universal que produz até mesmo o próprio tempo junto com o resto das coisas” (*ibid.*, p. 219). Assim, o tempo

surge de modo concomitante às coisas, ambos passam do não-ser para o ser em virtude da vontade divina, como esclarece a seguinte passagem:

[...] queremos dizer que Deus produziu o tempo e as coisas juntas no ser depois de não existirem. E assim não devemos considerar que a vontade divina não quis produzir as coisas em determinado momento, como se o tempo já existisse. Em vez disso, precisamos apenas considerar que Ele desejou que as coisas e o tempo de sua duração comessem a existir depois que não existiam (AQUINO, 2024, p. 219).

Já partindo da crença de que Deus é o criador do tempo, Tomás finaliza a lição respondendo ao argumento aristotélico da eternidade do tempo. Conforme recapitula Tomás, para Aristóteles tempo e movimento são indissociáveis, e a existência do tempo pressupõe um “agora”, algo que é simultaneamente um começo e um fim do tempo. Em suas palavras,

“o Filósofo diz que, sempre que há tempo, deve-se admitir sem hesitação que há um ‘agora’. Não se pode admitir que todo ‘agora’ é o começo e o fim do tempo, a menos que também se admita que sempre houve movimento, tal que todo indivisível que se põe em movimento, chamado ‘momento’, é o início e o fim do movimento. Pois o ‘agora’ está relacionado com o ‘momento’ assim como o tempo está relacionado com o movimento” (*ibid.*, p. 220).

Tomás contrapõe-se à ideia de que o tempo não teria um início, proposta que comprometeria a crença em um ato criador de Deus. Em sua opinião, não haveria um número infinito de “agoras”, algo que iria pressupor a existência de um tempo infinito, de modo que existiria um “primeiro agora”, instante inicial da série temporal. Como Tomás acredita que alguns movimentos estender-se-iam indefinidamente, ele não discorre sobre um tempo final. Para o autor, postular a existência de um tempo anterior ao primeiro “agora”, assim como pensar em algo anterior ao início de todas as coisas, são meros frutos da imaginação; conforme evidencia a passagem abaixo:

[...] quando dizemos que o começo do tempo é aquilo antes do qual nada existe, não se pode dizer que o “agora”, que é o começo do tempo, seja precedido por um tempo que é significado pelo “antes”. Da mesma forma, se em relação à magnitude eu digo que o começo é aquilo fora do qual nada dela existe, não se pode dizer que “fora desse começo” signifique um lugar existente na natureza, mas apenas um lugar imaginário. [...] Da mesma forma, o primeiro “agora” que é o começo do tempo não é precedido por um tempo existente na natureza, mas apenas em nossa imaginação. E isto é o que designamos

quando dizemos que o primeiro “agora” é o começo do tempo “antes” do qual não há tempo (AQUINO, 2024, p. 220).

Na concepção tomista, ao se considerar o primeiro “agora” (ou seja, o início do tempo), só é possível falar de um “antes” se este for entendido de forma negativa, isto é, significando que “antes” do primeiro instante *não* havia tempo. Assim, haveria então um “antes” e um “depois” do primeiro “agora”, sendo que o “antes” não representa algo no tempo, mas a inexistência do próprio tempo. Tomás conclui, portanto, que há um “antes” anterior ao tempo, indo de encontro à concepção aristotélica, conforme segue:

[...] a posição de Aristóteles de que não há antes e depois sem o tempo também não é eficaz. [...] pode-se dizer que o início do tempo é aquilo antes do qual não há tempo, sendo que a palavra “antes” não permanece afirmativa, mas torna-se negativa. Assim, não é necessário postular um tempo antes do início dos tempos. Com relação às coisas que estão no tempo, ocorre que algum tempo preexistiu ao seu início. Por exemplo, quando se diz que o início da juventude é aquilo antes do qual não há juventude, tornando possível entender o “antes” afirmativamente, pois a juventude se mede pelo tempo. O tempo, no entanto, não é medido pelo tempo. Portanto, este não preexistiu ao seu início. E assim a palavra “antes”, que é usada na definição do início do tempo, não pode permanecer afirmativa, mas torna-se negativa (*ibid.*, p. 220).

Todavia, Tomás não propõe uma espécie de “nada” antes do tempo, mas sim a *eternidade* de Deus. De modo semelhante, ele defende que, fora do mundo criado (que engloba, em si, o movimento), há a *magnitude* de Deus. Em suma, a resposta final de Tomás à questão da eternidade do movimento e do tempo, defendida por Aristóteles, é que estes *não são eternos*, pois possuem um ponto de partida, embora possam persistir indefinidamente no futuro. Para Tomás, Deus é a causa última do movimento e do tempo, implicando que estes foram criados. Assim, conclui o autor:

Há, porém, uma duração antes do tempo, a saber, a eternidade de Deus, que não tem extensão e nem um antes e depois, como o tempo, mas é um todo simultâneo. Este não tem a mesma natureza que o tempo, assim como a magnitude divina não é a mesma que a magnitude corpórea. Assim, quando dizemos que fora do mundo nada existe exceto Deus, não postulamos nenhuma dimensão fora do mundo. Da mesma forma, quando dizemos que antes do mundo nada existia, não postulamos uma duração sucessiva antes do mundo (*ibid.*, p. 221).

Tomás de Aquino foi o último grande intelectual a comentar as obras aristotélicas antes da condenação das doutrinas do Estagirita operada pelo bispo de

Paris, Étienne Tempier, em 7 de março de 1277. A proibição de Tempier visava combater a ideia de que havia limitações ao poder de Deus, como algumas das proposições condenadas pareciam sugerir¹⁹⁰. Dentre as proposições condenadas, estava a de que o mundo era eterno, ideia que Tomás também combateu, conforme já visto. Segundo o historiador da ciência James Hannam, ao declarar que a tese aristotélica da eternidade do mundo era falsa, a condenação de 1277 possibilitou que outras ideias do Estagirita pudessem ser contestadas:

As condenações e a Suma Teológica de Tomás criaram uma estrutura na qual os filósofos naturais poderiam prosseguir seus estudos com segurança. A estrutura primeiro definiu limites claros entre filosofia natural e teologia. Isso permitiu que os filósofos continuassem com o estudo da natureza sem serem tentados a entrar em especulações metafísicas ilícitas. Então, a estrutura estabeleceu o princípio de que Deus havia decretado as leis da natureza, mas não estava limitado a elas. Por último, declarou que Aristóteles às vezes estava errado. O mundo não era “eterno segundo a razão” e “finito segundo a fé”. Ele não era eterno, ponto final. E se Aristóteles poderia estar errado sobre algo que ele considerava completamente certo, isso colocava em questão toda a sua filosofia. O caminho estava livre para os filósofos naturais da Idade Média moverem-se decisivamente além das realizações dos gregos¹⁹¹ (HANNAM, 2011, p. 97).

Segundo a avaliação de Hannam, as condenações de Tempier contribuíram para que os pensadores da época pudessem se desvencilhar da autoridade de Aristóteles, e propor novas explicações para os fenômenos. Em suas palavras, os filósofos “não tinham mais que seguir Aristóteles obstinadamente, mas podiam invocar a liberdade de Deus para fazer as coisas de forma diferente e desenvolver teorias fora do paradigma

¹⁹⁰ No rol das ideias condenadas havia, por exemplo, a declaração de “que Deus ‘não poderia fazer vários universos’ [...] [e] nem ‘fazer mais do que três dimensões existirem simultaneamente’”. O bispo de Paris resumiu as condenações proibindo qualquer pessoa de dizer que ‘Deus não pode fazer nada que seja naturalmente impossível’” (HANNAM, 2011, p. 95). No original: “that God ‘could not make several universes’ [...] nor ‘make more than three dimensions exist simultaneously’. The bishop of Paris summed up the condemnations by prohibiting anyone from saying that ‘God cannot do anything that is naturally impossible’”.

¹⁹¹ No original: “The condemnations and Thomas’ *Summa Theologiae* had created a framework within which natural philosophers could safely pursue their studies. The framework first defined clear boundaries between natural philosophy and theology. This allowed the philosophers to get on with the study of nature without being tempted to indulge in illicit metaphysical speculation. Then the framework laid down the principle that God had decreed the laws of nature but was not bound by them. Finally, it stated that Aristotle was sometimes wrong. The world was not ‘eternal according to reason’ and ‘finite according to faith.’ It was not eternal, full stop. And if Aristotle could be wrong about something that he regarded as completely certain, that threw his whole philosophy into question. The way was clear for the natural philosophers of the Middle Ages to move decisively beyond the achievements of the Greeks”.

aristotélico”¹⁹² (HANNAM, 2011, p. 96). Hannam conclui que “tanto as condenações quanto a sua imposição deram espaço para a filosofia natural florescer”¹⁹³ (*ibid.*, p. 96).

No próximo capítulo, far-se-á uma exposição acerca da filosofia do século XIV, período marcado pelo desenvolvimento de formas mais arrojadas de compreender o mundo natural, que às vezes representaram um afastamento significativo em relação às doutrinas aristotélicas, embora, evidentemente, não as refutassem por completo.

¹⁹² No original: “no longer had to doggedly follow Aristotle, but could invoke God’s freedom to do things differently and develop theories outside the Aristotelian paradigm”.

¹⁹³ No original: “both the condemnations and their enforcement allowed space for natural philosophy to flourish”.

CAPÍTULO 3. O DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO NO OCIDENTE E AS QUESTÕES DA FILOSOFIA NO SÉCULO XIV

3.1 O século XIV

O século XIV marca uma reação radical contra as bases gregas do pensamento dos séculos anteriores. É certo que o Renascimento verá um ressurgir dos sistemas filosóficos gregos, mas este ressurgir – aliás conjuntural – arrastará consigo uma interpretação, de sinal muito diferente da interpretação medieval, da filosofia grega (CORDON; MARTINEZ, 1994, p. 10).

A passagem destacada sintetiza de modo fidedigno o desenvolvimento cultural ocorrido no Ocidente durante o século XIV, período marcado por um afastamento em relação às concepções aristotélicas acerca do mundo natural. A condenação de várias teses aristotélicas por parte do bispo de Paris Étienne Tempier, no final do século XIII, foi um marco a partir do qual ocorreu a contestação dos princípios elementares da filosofia natural do Estagirita, o que, segundo alguns estudiosos, ajudou a estabelecer os alicerces a partir dos quais edificar-se-ia a ciência moderna. Sobre isso, aponta Carlos Nougué:

Entre as condenações de Étienne Tempier (1277) e a edição do *Traité du Ciel et du Monde* de Nicolás de Oresme (1377), todos os princípios essenciais da física de Aristóteles foram solapados e as grandes ideias da ciência moderna foram formuladas. Esta verdadeira revolução foi produto sobretudo de franciscanos de Oxford, como Richard de Middleton, Duns Scot e Guilherme de Ockham, e de mestres da Escola de Paris, herdeiros da tradição inaugurada por aqueles mesmos franciscanos: militaram na vanguarda dessa revolução em Paris especialmente Buridan, Alberto da Saxônia e Oresme (NOUGUÉ, in AQUINO, 2024, p. 54).

Ou seja, segundo Nougué (reportando-se a Pierre Duhem), o período exato de cem anos entre a condenação das doutrinas de Aristóteles pela Igreja e a publicação do *Le Livre du ciel et du monde* foi um século de profundas transformações na maneira de conceber o mundo natural. Para os fins deste trabalho, cujo intuito é tentar responder a questão sobre se Nicole Oresme pode ser considerado um precursor da ciência moderna, serão abordados apenas alguns autores cujos trabalhos estejam diretamente relacionados

ao desenvolvimento científico da época, e que atuaram nos dois grandes centros onde tal desenvolvimento ocorreu, Oxford e Paris.

Dessa forma, este capítulo apresentará um panorama geral da obra de quatro autores, sendo eles Guilherme de Ockham, Thomas Bradwardine, William Heytesbury e Jean Buridan, sendo os três primeiros vinculados à Universidade de Oxford, enquanto o último pertenceu à Universidade de Paris.

3.2 Guilherme de Ockham

Dentre as contribuições filosóficas de Guilherme de Ockham (1285 - 1347), estão as suas análises acerca da filosofia natural aristotélica, nomeadamente no que se refere ao texto da *Física* e às noções de movimento e lugar. Enquanto o Estagirita compreendia o movimento como uma mudança local¹⁹⁴, ou seja, algo extrínseco ao corpo, Ockham entendeu que ele não é algo externo ao corpo movente, conforme esclarece André Goddu:

Movimento, diz Ockham, não é uma coisa realmente distinta, distinta do corpo submetido ao movimento e dos lugares sucessivos que o corpo ocupa. A mudança que um corpo sofre não é distinta do corpo no ato da mudança. Tal mudança se refere à aquisição potencial de uma qualificação ou de uma parte que o corpo agora não tem ou está em processo de aquisição. [...] Referir-se à mudança e ao movimento como entidades distintas é cometer o erro de tomar um termo conotativo por um termo absoluto. “Movimento” é um termo conotativo, e o uso indevido desse termo ilustra os perigos de usar termos abstratos como um tipo de abreviação para expressões e eventos mais complexos¹⁹⁵ (GODDU, 1999, p. 156).

¹⁹⁴ A noção de que o movimento é uma mudança local pode ser depreendida da seguinte passagem do Livro VIII da *Física*, quando Aristóteles afirma a primazia da mudança local sobre os demais tipos de mudança. Diz o Estagirita: “Dos três tipos de mudança – mudança de tamanho, mudança de qualidade, e mudança de lugar (ou em outras palavras, movimento) – é o movimento que está fadado a ser primário” (ARISTOTLE, *Physics*, 1996, 260a26). Na tradução consultada: “Of the three kinds of change – change of size, change of quality, and change of place (or in other words, movement) – it is movement that is bound to be primary”.

¹⁹⁵ No original: “Motion, says Ockham, is not a really distinct thing, distinct from the body undergoing motion and from the successive places the body occupies. The change a body undergoes is not distinct from the body in the act of change. Such a change refers to the potential acquisition of a qualification or of a part the body now lacks or is in the process of acquiring. [...] To refer to change and motion as distinct entities is to commit the mistake of taking a connotative term for an absolute term. ‘Motion’ is a connotative term, and the misuse of that term illustrates the dangers of using abstract terms as a kind of shorthand for more complex expressions and events”.

Ou seja, o movimento não deve ser tomado como uma entidade autônoma, independente do móvel, mas sim como algo indissociável do corpo movente. Ao negar a existência separada do movimento, Ockham está aplicando em sua análise o seu famoso princípio conhecido como *navalha de Ockham*, segundo o qual não se deve postular a existência de entidades desnecessárias. Sobre isso, diz James Hannam:

Ele [Ockham] realmente disse: “Entidades múltiplas nunca devem ser invocadas desnecessariamente”. Isso significa que nós devemos rejeitar explicações físicas e filosóficas que postulam a existência de coisas, como universais, das quais não temos necessidade para explicar a experiência direta¹⁹⁶ (HANNAM, 2011, p. 165).

O movimento, portanto, estaria nessa categoria de entidades cuja suposição não é necessária para explicar a existência de coisas particulares, no caso, os corpos móveis¹⁹⁷. Nesse sentido, Ockham articula a sua resposta ao problema do movimento dos projéteis, negando que sua continuidade se deva ao corpo projetante ou à ação do ar, como propusera Aristóteles. Ademais, Ockham também recusa a hipótese de que a força aplicada ao projétil seja a responsável pelo seu deslocamento. Segundo Ockham, o lançador não poderia ser a causa do movimento porque poderia deixar de existir enquanto o deslocamento ainda estivesse em curso; por sua vez, o ar poderia se deslocar em direção contrária, e assim não poderia ser considerado a causa da referida trajetória. Dessa forma, Ockham credita ao próprio corpo movido a causa de seu deslocamento, conforme pontua em sua *Reportatio*, II, questão 26 e seguintes:

Note-se também que há uma grande dificuldade no que tange ao movimento de projeção em seu princípio movente e eficiente. Com efeito, esse princípio não pode ser o corpo projetante, porque esse pode corromper-se perdurando o movimento; nem pode ser o ar, porque esse pode mover-se em direção oposta, como quando uma seta vai na direção de um rochedo (com vento oposto). Nem é a força na pedra (atirada), porque então pergunto: qual a causa dessa força? [...] Por conseguinte, digo que, nesse movimento que ocorre apesar da

¹⁹⁶ No original: “He actually said: ‘Multiple entities should never be invoked unnecessarily.’ What this means is that we should reject physical and philosophical explanations that posit the existence of things, like universals, of which we have no need in order to account for direct experience”.

¹⁹⁷ Ockham “insistiu que só podemos perceber coisas individuais e que quaisquer conexões que fazemos entre elas são nossas próprias invenções. Não é necessário postular sobre a existência de universais reais quando podemos explicar o mundo em termos dos indivíduos reais que ele contém. Inventar novos conceitos, como universais, é desnecessário” (HANNAM, 2011, p. 165). No original: “insisted that we can only perceive individual things and that any connections we make between them are our own inventions. There is no need to postulate about the existence of real universals when we can explain the world in terms of the actual individuals it contains. Inventing new concepts, like universals, is unnecessary”.

separação do objeto móvel em relação ao primeiro projetante, o princípio de tal movimento é a própria coisa movida, por si mesma, e não por alguma força absoluta nela existente ou força relativa, de modo que o movente e a coisa movida são absolutamente indistintos (OCKHAM, 1973, p. 401).

Evidentemente, trata-se de um claro afastamento em relação à física aristotélica. Todavia, a discordância de Ockham com as explicações de Aristóteles não se limitou a esse novo entendimento acerca do movimento, no qual ele é indissociável da coisa movida, estendendo-se também à análise do “lugar”. De modo análogo às suas considerações sobre o movimento, Ockham defendeu que o “lugar” não era algo dotado de existência autônoma em relação ao corpo, mas sim os limites deste. Ademais, o filósofo propôs uma distinção entre “lugar comum” e “lugar próprio”, na qual o primeiro representa um ponto fixo, imóvel, enquanto o último corresponde ao limite ocupado por um corpo, sendo assim móvel. Explica Goddu:

‘Lugar’ é um conceito relativo e conotativo. Lugar não é uma coisa real distinta do corpo que o contém, mas é o limite do corpo contíguo ao corpo que o contém. Ockham resolve muitos problemas interpretando as alegações feitas de acordo com a distinção entre lugar próprio e lugar comum. O lugar comum está no lugar e é imóvel, mas o lugar próprio não está estritamente no lugar e é móvel. Um rio inteiro, por exemplo, pode ser o lugar comum de um barco, mas o lugar próprio do barco é exatamente aquele limite do rio que é contíguo ao barco, e porque a água do rio se move passando pelo barco, segue-se que o lugar próprio é móvel¹⁹⁸ (GODDU, 1999, p. 157-158).

Uma das principais implicações da concepção ockhamista de lugar é que este não poderia ser pensado como uma causa do movimento, uma interpretação que pode ser aplicada no âmbito da filosofia do Estagirita, na qual o lugar natural de determinado corpo indica a tendência deste em repousar em dado local, e consequentemente indica a finalidade do movimento natural, ou seja, onde ele deve terminar¹⁹⁹. Por exemplo, o

¹⁹⁸ No original: “‘Place’ is a relative and connotative concept. Place is not a real thing distinct from the containing body but is the limit of the body contiguous to the containing body. Ockham resolves many problems by interpreting the claims made according to the distinction between proper place and common place. Common place is in place and is immobile, but proper place is not strictly in place and is mobile. A whole river, for example, may be the common place of a boat, but the proper place of the boat is exactly that limit of the river that is contiguous to the boat, and because the water of the river moves past the boat, it follows that proper place is mobile”.

¹⁹⁹ Diz Goddu: “Aristóteles explica o lugar natural como uma função de, ou relação entre, a forma de uma coisa e sua causa final. Corpos em movimento estão se esforçando, digamos assim, para chegar àquele lugar onde eles naturalmente repousarão: o fim de seu movimento. A implicação é que o lugar natural atua como uma causa do movimento” (GODDU, 1999, p. 158). No original: “Aristotle explains natural place as a function of, or relation between, the form of a thing and its final cause. Bodies in motion are

lugar natural de uma pedra é o centro da Terra, e assim a finalidade do movimento natural da pedra é alcançar o solo, que ao ser atingido provoca a extinção de tal movimento, quando a pedra passa a estar em repouso. No caso de Ockham, “lugar não é uma coisa e, portanto, não pode funcionar como uma causa de movimento”²⁰⁰ (GODDU, 1999, p. 158).

Em suma, o que é importante destacar é que a ressignificação de conceitos elementares da filosofia natural aristotélica (como o movimento e o lugar) por parte de Ockham era algo associado à concepção nominalista defendida por ele, ou seja, a de que os conceitos eram apenas nomes, e não coisas reais presentes no mundo. Contudo, a contribuição dos pensadores de Oxford para o desenvolvimento da filosofia não se limitou à obra de Ockham, uma vez que o trabalho dos chamados “calculadores de Merton” pode ser considerado uma das maiores inovações do período, ao tentar aplicar a matemática à compreensão do fenômeno do movimento.

3.3 Os calculadores do *Merton College*

O *Merton College*, isto é, a Faculdade Merton, é uma das mais antigas dentre as faculdades da Universidade de Oxford. Fundada em 1264 pelo bispo Walter de Merton, pode ter tido Ockham como um de seus estudantes²⁰¹. Independentemente desse possível vínculo, o fato é que as ideias ockhamistas exerceram certa influência nos estudos desenvolvidos na faculdade no decorrer do século XIV, conforme destaca McFadden:

Após a partida apressada [de Oxford] de Guilherme, e apesar da sua condição de herege, suas ideias continuaram sendo estudadas em Merton. [...] Além disso, nas décadas imediatamente posteriores à partida de Guilherme de Oxford, um grupo de acadêmicos conhecido como Calculadores de Merton ganhou fama não pelos estudos em teologia, mas pela inovadora aplicação da matemática nas ciências naturais, um movimento provavelmente inspirado por Guilherme (MCFADDEN, 2022, p. 81).

striving, so to speak, to get to that place where they will naturally rest: the end of their motion. The implication is that natural place acts as a cause of motion”.

²⁰⁰ No original: “place is not a thing and hence cannot function as a cause of motion”.

²⁰¹ Diz McFadden (2022, p. 81): “Não se sabe onde ele [Ockham] estudou em Oxford, mas uma de suas faculdades mais antigas, Merton, criada para estudantes de teologia cerca de 50 anos antes, é uma candidata provável”.

McFadden prossegue afirmando que embora nenhum dos “calculadores” tenha se referido explicitamente a Ockham ou a sua obra, pode-se concluir que houve tal influência, devido a uma nova forma de conceber a utilização da matemática, aplicando-a às ciências naturais²⁰². Até então, a matemática era pensada sob um prisma aristotélico, no qual “só podia ser aplicada a objetos sem substância, como círculos, triângulos” (MCFADDEN, 2022, p. 82). Assim, tanto os números quanto a geometria eram “ferramentas inadequadas para descrever, por exemplo, o calor de um objeto ou a trajetória de uma flecha” (*ibid.*, p. 82). Na época medieval, ciências como a física, química, biologia, dentre outras, “estavam agrupadas sob o termo ‘ciência natural’ e encontravam-se fora dos limites da matemática, pois todas se relacionavam a ‘substâncias’” (*ibid.*, p. 82).

Ockham, entretanto, interpretou o conhecimento matemático de modo diverso à concepção aristotélica, e da mesma forma em que combateu a existência de universais, como o movimento, insurgiu-se contra a crença de que a matemática tinha por objeto formas e números reais existentes no mundo das ideias. Sendo a matemática apenas um saber instrumental, este poderia ser utilizado nas ciências e, assim, para compreender o fenômeno do movimento com maior precisão. Nas palavras de McFadden, Ockham

“usou sua navalha nominalista para atacar a noção de que essa ciência [matemática] se baseia em Formas platônicas ou universais de triângulos, círculos e números existentes em algum reino perfeito. [...] Uma vez que números, formas ou objetos geométricos eram meras ferramentas mentais, argumentou Ockham, não deveria haver restrições à sua aplicação” (*ibid.*, p. 83-84).

Os chamados “calculadores de Merton” assumiram essa nova perspectiva, empregando a matemática nos estudos da mecânica. De acordo com Marshall Clagett, o “desenvolvimento em mecânica concentrado no Merton College [...] foi fomentado por quatro lógicos e filósofos naturais capazes: Thomas Bradwardine, William Heytesbury, Richard Swineshead e John Dumbleton”²⁰³ (CLAGETT, 1961, p. 199), cuja atuação

²⁰² Ver MCFADDEN, 2022, p. 81.

²⁰³ No original: “development in mechanics centered at Merton College [...] was fostered by four able logicians and natural philosophers: Thomas Bradwardine, William Heytesbury, Richard Swineshead, and John Dumbleton”.

ocorreu aproximadamente entre 1328 e 1350²⁰⁴. No que concerne aos resultados obtidos pelo grupo, Clagett escreve:

Das discussões desses quatro homens em Merton surgiram algumas contribuições muito importantes para o desenvolvimento da mecânica: (1) Uma distinção bem-definida entre *dinâmica* e *cinemática*, expressa como uma distinção entre as *causas* do movimento e os *efeitos* espaço-temporais do movimento. (2) Uma nova abordagem para a rapidez ou velocidade, em que a ideia de uma velocidade instantânea entrou em consideração, talvez pela primeira vez, e com ela uma ideia mais precisa de “funcionalidade”. (3) A definição de um movimento uniformemente acelerado como aquele em que incrementos iguais de velocidade são adquiridos em quaisquer períodos iguais de tempo. (4) O enunciado e prova do teorema cinemático fundamental que iguala em relação ao espaço percorrido em um dado tempo um movimento uniformemente acelerado e um movimento uniforme, em que a velocidade é igual à velocidade no instante médio do tempo de aceleração. Foi este último teorema, de uma forma um pouco diferente, que Galileu afirma e que está no cerne de sua descrição da queda livre dos corpos²⁰⁵ (*ibid.*, p. 205, grifos no original em inglês).

Percebe-se, dentre as contribuições elencadas acima, avanços significativos para o desenvolvimento posterior da física, tais como a caracterização de um movimento acelerado (item 3) e a ideia que se tornou conhecida como o *teorema da velocidade média* (item 4). Tais assuntos foram de importância fundamental para o progresso da ciência do movimento, e serão abordados mais adiante, após a exposição acerca do trabalho de Thomas Bradwardine, pioneiro dentre os calculadores do *Merton College*²⁰⁶.

²⁰⁴ CLAGETT, 1961, p. 199.

²⁰⁵ No original: “From the discussions of these four men at Merton emerged some very important contributions to the growth of mechanics: (1) A clear-cut distinction between *dynamics* and *kinematics*, expressed as a distinction between the *causes* of movement and the spatial-temporal *effects* of movement. (2) A new approach to speed or velocity, where the idea of an instantaneous velocity came under consideration, perhaps for the first time, and with it a more precise idea of ‘functionality’. (3) The definition of a uniformly accelerated movement as one in which equal increments of velocity are acquired in any equal periods of time. (4) The statement and proof of the fundamental kinematic theorem which equates with respect to space traversed in a given time a uniformly accelerated movement and a uniform movement where the velocity is equal to the velocity at the middle instant of the time of acceleration. It was this last theorem in a somewhat different form that Galileo states and which lies at the heart of his description of the free fall of bodies”.

²⁰⁶ De acordo com Clagett, “não há dúvida de que a atividade mecânica de Bradwardine precede a dos outros estudiosos [de Merton]” (CLAGETT, 1961, p. 199). No original: “there is no doubt that the mechanical activity of Bradwardine precedes that of the other scholars”.

3.3.1 Thomas Bradwardine

Thomas Bradwardine (c. 1290 - 1349) ingressou no *Merton College* em 1323, e ali permaneceu por doze anos, período no qual elaborou os seus trabalhos mais importantes de filosofia natural²⁰⁷, dentre eles o *Tractatus de Proportionibus* (Tratado sobre proporções), surgido por volta de 1328²⁰⁸. Nessa obra, Bradwardine aplica a matemática ao estudo do movimento, no que concerne ao cálculo da velocidade dos corpos²⁰⁹, questão que, para Bradwardine, foi posta pelo próprio Aristóteles no Livro VII, Capítulo 5 da *Física*²¹⁰. É importante ressaltar que o esforço de Bradwardine na tarefa de quantificar o movimento não representou, de forma alguma, um abandono ou uma ruptura com a tradição aristotélica. Assim, o *Tractatus de Proportionibus* pode ser pensado como uma contribuição à análise acerca do movimento, conservando os preceitos aristotélicos sem, no entanto, limitar-se a eles. Sobre isso, diz Custódio:

O texto do *De Proportionibus* difere do tratamento habitualmente dado à filosofia da natureza pelos comentadores dos séculos XII e XIII por apresentar uma maior autonomia de Aristóteles quanto à explicação da natureza, que se manifesta pela confiança de Bradwardine na possibilidade de perscrutá-la a partir de instrumentos matemáticos. Não se deve compreender, contudo, que Bradwardine abandona a definição de natureza, os conceitos e noções de Aristóteles, tal qual aprendeu pela leitura da *Física* comentada por Averróis (CUSTÓDIO, 2004, p. 20).

O próprio Bradwardine, salienta Custódio, considerava-se um aristotélico, entendendo “seu trabalho como a resolução de um problema deixado em aberto na *Física*, a saber, comparar os movimentos, e decidir pela sua comensurabilidade” (*ibid.*, p. 21). Ou seja, trata-se do reconhecimento de que movimentos podem ser medidos e comparados entre si. Porém, aponta Custódio, a noção de movimento adotada por Bradwardine difere da concepção aristotélica, para a qual o movimento era um tipo de mudança²¹¹, aquela em relação ao local, à posição de determinado corpo; enquanto para Bradwardine tratar-se-ia da “velocidade ou a proporção da distância percorrida em um

²⁰⁷ HANNAM, 2011, p. 170.

²⁰⁸ MCFADDEN, 2022, p. 84.

²⁰⁹ CUSTÓDIO, 2004, p. 19.

²¹⁰ *Ibid.*, p. 24.

²¹¹ Ver nota de rodapé nº 194 (p. 120), no tópico 3.2.

certo lapso de tempo” (CUSTÓDIO, 2004, p. 22). Segundo Bradwardine, a comparação entre os movimentos dar-se-ia por meio de suas grandezas, as *velocidades*²¹², mediante o “uso de proporções, numa operação que recebe o nome de cálculo” (*ibid.*, p. 36). A proposta era analisar o movimento por si mesmo, diferentemente do que fez Aristóteles, cujo objetivo foi “investigar quais as determinantes naturais que explicam, objetivamente, a experiência sensível do aumento ou da diminuição da velocidade do movimento” (*ibid.*, p. 36). Ou seja, a análise aristotélica do movimento voltava-se para a investigação da *causa* (agente motor) e do *efeito* (distância percorrida). O foco do Estagirita não era o processo (o movimento mesmo, medido através da velocidade), mas o resultado (trajeto percorrido); sendo que, através da comparação entre as distâncias percorridas ao mesmo tempo por dois corpos, Aristóteles identificava qual o movimento mais veloz²¹³.

3.3.1.1 *Tractatus de Proportionibus*

O *Tractatus de Proportionibus* de Bradwardine é dividido em quatro capítulos. No Capítulo 1, o autor apresenta a linguagem das proporções a um leitor que, muitas vezes, não está habituado com a matemática, como é o caso do filósofo natural. No Capítulo 2, Bradwardine apresenta quatro teorias já existentes acerca das proporções dos movimentos, investigando cada uma em uma seção do capítulo. O autor conclui pela falsidade de tais teorias e, no Capítulo 3, apresenta uma quinta teoria, elaborada por ele, que visa explicar a velocidade de modo quantitativo, relacionando-a às proporções entre o agente motor e o corpo movido. Por fim, o Capítulo 4 é dedicado ao estudo do movimento circular, além de abordar o cálculo de velocidade dos corpos constituídos por partes móveis²¹⁴. Com o intuito de apresentar o afastamento de Bradwardine em relação à teoria aristotélica do movimento, o presente tópico concentrar-se-á nos aspectos mais importantes trabalhados pelo autor nos Capítulos 2 e 3 do supracitado tratado.

²¹² Ou seja, justamente pela característica que, para Bradwardine, distinguia os movimentos das demais mudanças.

²¹³ CUSTÓDIO, 2004, p. 36-37.

²¹⁴ Para uma breve exposição dos assuntos contidos nos capítulos 1, 2 e 4 do *Tractatus*, consultar as páginas 86 e 87 da obra citada acima. Quanto ao terceiro capítulo, ver a página 138 do referido texto.

O cerne do Capítulo 2 do *Tractatus* de Bradwardine reside na exposição das quatro teorias que, em sua visão, são errôneas. Conforme aponta Custódio, a explanação e refutação de tais teorias relaciona-se ao

“propósito primeiro do *De proportionibus*, a saber, a restauração do que Bradwardine acreditava ser o sentido original da afirmação de Aristóteles, na *Física*, sobre o cálculo das velocidades dos movimentos. O expurgo das teorias equivocadas representa, nesse contexto, o expurgo do aristotelismo medieval” (CUSTÓDIO, 2004, p. 105).

Ainda segundo Custódio, a exposição de tais teorias pretende “mostrar que o filósofo da natureza não deve insistir em tratar qualitativamente o movimento, pois incorrerá em tentativas fracassadas de interpretação das velocidades” (*ibid.*, p. 105). As quatro teorias combatidas por Bradwardine estão associadas a três²¹⁵ concepções diversas no tocante à relação da velocidade com as demais potências^{216 217}. A primeira noção era a de que a velocidade consistia em um valor absoluto, dado pela diferença entre a potência motora e a resistência, subtraindo-se esta da primeira (Teoria I). Outra perspectiva era considerar a velocidade como um valor relativo, encontrado a partir da relação entre duas potências opostas (a potência motora e a resistência a tal força), que pode consistir em um excesso de potência motora em relação à resistência (Teoria II) ou no caso em que a variação da velocidade se dá de acordo com a variação entre resistências (sendo a potência motora constante) ou entre as potências motoras (caso em

²¹⁵ Em sua “Introdução” à tradução em inglês do *Tractatus de Proportionibus*, Crosby enumera apenas as duas primeiras concepções de velocidade, a saber, a de que esta possui um valor absoluto e a de que tal valor é relativo. Diz Crosby: “Como já foi apontado, houve, no geral, apenas duas tendências fundamentalmente divergentes na tentativa de formular uma teoria adequada sobre a relação entre velocidades e forças. Primeiro, havia a visão que, em grande parte em fundamentos lógico-matemáticos, buscava explicar a velocidade em termos de um absoluto. Segundo, havia a tendência de ver a velocidade como uma função relativa. A primeira tendia a ver a força resistiva como algo a ser subtraído da força motriz (o resto sendo a causa de qualquer velocidade restante); esta última considerando a velocidade como sendo simplesmente o resultado direto da interação de forças opostas” (CROSBY, 1961, p. 31-32). No original: “As has already been pointed out, there had been, generally speaking, only two fundamentally divergent tendencies in the attempt to formulate an adequate theory of the relation of velocities and forces. First, there was the view which, largely on logico-mathematical grounds, sought to account for velocity in terms of an absolute. Second, there was the tendency to see velocity as a relative function. The former tended to view resistive force as something to be subtracted from motive force (the residuum being the cause of whatever velocity remained); the latter envisaged velocity as being simply the direct resultant of the interaction of opposed forces”.

²¹⁶ CUSTÓDIO, 2004, p. 111.

²¹⁷ Neste tópico (3.3.1.1), utilizo as palavras força (F) e potência (P) como equivalentes, para designar a força motriz/potência motora de determinado corpo.

que o valor da resistência é que permanecerá igual), conforme sustenta a Teoria III²¹⁸. Por sua vez, a última concepção acerca da velocidade “nega a possibilidade de relacionar potência motora e resistência (magnitudes intensivas) com a velocidade (magnitude extensiva)” (*ibid.*, p. 112), sendo esta noção associada à Teoria IV²¹⁹.

Cabe analisar mais detalhadamente cada uma das teorias consideradas falsas por Bradwardine, para então apresentar a teoria proposta por ele. Segundo Bradwardine, a primeira teoria equivocada diz que “a proporção entre as velocidades com as quais os movimentos ocorrem varia como a diferença pela qual a força do motor excede a resistência oferecida pela coisa movida”²²⁰ (BRADWARDINE, 1961, p. 87, grifos do tradutor em inglês). Bradwardine afirma que essa ideia é sustentada a partir de determinadas passagens da obra de Aristóteles e de Averróis²²¹, e se contrapõe a ela a partir de uma série de argumentos, que não cabe apresentar aqui, dado o escopo do

²¹⁸ Para uma síntese da relação entre as concepções de velocidade e as teorias errôneas associadas a elas, ver CUSTÓDIO, 2004, p. 112; para uma melhor compreensão da ideia de que a velocidade é um valor relativo, consultar o enunciado da terceira teoria equivocada, presente na página 129 do mesmo trabalho.

²¹⁹ Sobre isso, diz Crosby: “A quarta teoria representa a visão daqueles que, com o argumento de que forças e resistências são de grandezas ‘intensivas’, defenderam que a proporção de força e resistência não deve ser tomada como matematicamente relacionável à velocidade (distância e tempo), visto que a velocidade é uma grandeza ‘extensiva’” (CROSBY, 1961, p. 32). No original: “The fourth theory represents the view of those who, on the ground that forces and resistances are “intensive” magnitudes, argued that a proportion of force and resistance is not to be taken as mathematically relatable to a velocity (distance and time), since velocity is an “extensive” magnitude”.

²²⁰ Na tradução em inglês: “the proportion between the speeds with which motions take place varies as the difference whereby the power of the mover exceeds the resistance offered by the thing moved”.

²²¹ Segundo Bradwardine, a primeira teoria “afirma em seu favor a passagem do Livro I do *De Caelo et Mundo* (no capítulo sobre o “infinito”) no texto onde se lê: ‘É necessário que proporcionalmente à medida em que o motor está em excesso, etc.’, assim como o Comentário 71 de Averróis ao Livro IV da *Física*, em que ele diz: ‘Todo movimento ocorre de acordo com o excesso da potência do motor sobre a da coisa movida’. No Comentário 35, sobre o Livro VII da *Física*, ele afirma ainda que: ‘A velocidade própria para um dado movimento varia conforme o excesso da potência do motor sobre a da coisa movida’, e no Comentário final, Comentário 39, ele diz que: ‘A velocidade da alteração e a quantidade de tempo variarão de acordo com a quantidade pela qual a força daquilo que está causando a alteração excede a resistência oferecida por aquilo que sofre a alteração’. Muitas outras passagens permitem afirmações semelhantes” (BRADWARDINE, 1961, p. 87). Na tradução em inglês: “claims in its favor that passage from Book I of the *De Caelo et Mundo* (in the chapter on the “infinite”) in the text which reads: ‘It is necessary that proportionally as the mover is in excess, etc.’, together with Averroes’ Comment 71 on Book IV of the *Physics*, in which he says: ‘Every motion takes place in accordance with the excess of the power of the mover over that of the thing moved’. In Comment 35, on Book VII of the *Physics*, he further states that: ‘The speed proper to any given motion varies with the excess of the power of the mover over that of the thing moved’, and in the final Comment, Comment 39, he says that: ‘The speed of alteration and the quantity of time will vary in accordance with the amount whereby the power of that which is causing the alteration exceeds the resistance offered by what undergoes the alteration’. Many other passages afford similar remarks”.

presente trabalho. Assim, focar-me-ei nas conclusões de Bradwardine, que ensejaram a elaboração de sua própria teoria acerca da velocidade.

Primeiramente, é preciso salientar que Bradwardine não propõe uma formulação matemática para expressar o enunciado da teoria, de modo que é necessário recorrer aos comentadores para compreender o “cálculo” proposto por ele. Acerca da Teoria I, Custódio apresenta duas possibilidades, defendidas por Maier e Crosby:

[...] é necessário compreender o cálculo envolvido na primeira teoria, para o qual há duas interpretações. Anneliese Maier sustenta que se trata da seguinte equação: $V/V' = (P-R) - (P'-R')$, enfatizando que o texto fala da proporção entre velocidades e não entre potências. O termo “velocidade”, afirma Maier, aparece sempre escrito no plural, enquanto “excesso” de potência aparece no singular (*sequi excessum*), variando segundo o excesso. Crosby, embora concorde com a argumentação de Maier, sugere que ao invés de uma proporção geométrica (V/V'), a primeira teoria trata de uma proporção aritmética ($V-V'$), de modo que a notação correta seria: $V-V' = (P-R) - (P'-R')$. Não há elementos textuais suficientes para que se opte definitivamente por uma ou outra solução (CUSTÓDIO, 2004, p. 118-119).

Ao negar a veracidade da primeira teoria, Bradwardine também reinterpreta a ideia aristotélica (e defendida por Averróis), de que o movimento ou velocidade ocorrem devido ao excesso da potência do motor sobre a potência da coisa movida (ou resistência), interpretando a palavra “excesso” não como uma diferença²²², mas como uma maior proporção entre a potência do motor e a do móvel, de modo que o movimento/velocidade seja o quociente da divisão da potência motora pela resistência²²³. Nas palavras de Bradwardine:

²²² Trata-se da ideia na qual o movimento ou velocidade (V) resulta da subtração da potência do móvel ou resistência (R) da potência do motor/força motriz (P), algo que poderíamos representar por $V = P-R$. Tal formulação expressa precisamente a concepção de velocidade advogada por Filopono, conforme ÉVORA, 1993, p. 89 (passagem já citada ao final do subtópico sobre Avicena, na página 98 do presente trabalho). Crosby reconhece que a fórmula $V=P-R$ pode ser interpretada como uma simplificação de $V-V' = (P-R) - (P'-R')$, que ele defende como sendo a formalização matemática da Teoria I. Assim, se quiséssemos calcular V e V' separadamente, uma das formas possíveis seria resolver as equações $V=P-R$ e $V' = P'-R'$. Diz o comentador: “Por uma questão de simplicidade diagramática, podemos expressar a presente teoria pela fórmula $kV = F-R$, em que F = força motriz, R = força resistiva, ou móvel, e k = uma constante de conversão” (CROSBY, 1961, p. 32, grifo no original). No original: “For the sake of diagrammatic simplicity, we shall express the present theory by the formula, $kV = F-R$ where F = motive force, R = resistive force, or mobile, and k = a conversion constant”.

²²³ Como pontua Custódio, “Bradwardine afirma que [Aristóteles e Averróis] quiseram dizer por ‘a velocidade decorre do excesso’, que o movimento é produzido por uma proporção de maior desigualdade entre P e R , ou seja, o que podemos representar por P/R sendo $P > R$ ” (CUSTÓDIO, 2004, p. 126-127, grifos do autor).

A proporção das velocidades nos movimentos não varia segundo a quantidade pela qual a potência do motor excede aquela [potência] da coisa movida. Objeções a essa conclusão não são difíceis de dissolver, pois Aristóteles e Averróis, quando dizem que a velocidade de um movimento varia de acordo com a quantidade pela qual a potência do motor se sobressai ou excede aquela da coisa movida, entendendo por “superioridade”, ou “excesso”, uma proporção de maior desigualdade em que a potência do motor se sobressai, ou excede, a potência da coisa movida²²⁴ (BRADWARDINE, 1961, p. 93, grifos do tradutor em inglês).

Em outras palavras, Bradwardine sublinha que o entendimento aristotélico acerca da velocidade era o de que esta resultava da proporção entre a força motora e a resistência ao movimento²²⁵; portanto, consistia em um valor *relativo*, no qual a velocidade e resistência são inversamente proporcionais²²⁶.

Na segunda parte do Capítulo 2, Bradwardine propõe a analisar a Teoria II, também considerada falsa. Diz o estudioso:

Vamos agora abordar a segunda teoria errônea, que supõe que a proporção das velocidades dos movimentos varia de acordo com a proporção dos excessos pelos quais as potências motoras excedem as potências resistentes. Esta ideia é evidentemente baseada no Comentário 36 de Averróis ao Livro VII da *Física*, pois lá ele afirma que a velocidade de um movimento é determinada pela proporção em que a potência do motor excede aquela [potência] da coisa movida²²⁷ (BRADWARDINE, 1961, p. 93, grifos do tradutor em inglês).

Analogamente ao procedimento adotado em relação à Teoria I, Bradwardine também não expressa aritmeticamente a Teoria II, de modo que a tarefa de interpretar

²²⁴ Na tradução em inglês: “The proportion of speeds in motions does not vary with the amount whereby the power of the mover exceeds that of the thing moved. Objections to this conclusion are not difficult to dissolve, for Aristotle and Averroes, when they say that the speed of a motion varies in accordance with the amount by which the power of the mover excels or exceeds that of the thing moved, understand by ‘excellence’, or ‘excess’, a proportion of greater inequality whereby the power of the mover excels, or exceeds, the power of the thing moved”.

²²⁵ ÉVORA, 1993, p. 84-85, já citado na nota de rodapé nº 78 (p. 51). Trata-se de uma notação moderna para a concepção de velocidade defendida pelo Estagirita, em que a velocidade (V) é o quociente da divisão da força motriz (F) pela resistência (R), ou seja, $v = F/R$.

²²⁶ Concepção aristotélica de velocidade, já destacada no tópico sobre a queda dos graves (1.13), na página 51 deste texto.

²²⁷ Na tradução em inglês: “Let us now turn to the second erroneous theory, which supposes the proportion of the speeds of motions to vary in accordance with the proportion of the excesses whereby the moving powers exceed the resisting powers. This idea is evidently based on Averroes’ Comment 36 on Book VII of the *Physics*, for he there states that the speed of a motion is determined by the proportion whereby the power of the mover exceeds that of the thing moved”.

qual seria a fórmula matemática mais adequada para sintetizá-la coube novamente a Crosby, que assim a explica:

Teoria II – A segunda teoria da velocidade que Bradwardine critica pode ser expressa assim: $kV = F - R/R$. Nenhum dos teóricos anteriores a Bradwardine que temos examinado faz esta variante combinada das Teorias I e III receber pleno desenvolvimento; do tratamento muito superficial que lhe foi concedido, podemos, de fato, sentir-nos tentados a acreditar que ninguém tinha realmente a considerado seriamente. A Teoria II é, entretanto, sugerida pelo Comentário 36 de Averróis ao Livro VII da *Física* (que Bradwardine cita como sua autoridade) e, portanto, não deveria ser esquecida por alguém escrevendo um tratado sobre a teoria da velocidade. É interessante notar que essa teoria foi, finalmente, retomada seriamente por Giovanni Marliani, no século quinze²²⁸ (CROSBY, 1961, p. 35).

Bradwardine apresenta apenas dois argumentos contrários à Teoria II, que serão aqui analisados levando em consideração a interpretação matemática de Crosby para a referida teoria ($V = F - R/R$), que inicialmente Bradwardine critica nos seguintes termos:

Esta teoria deve, entretanto, ser refutada como falsa. Pois imagine o caso em que o excesso de potência do motor sobre a [potência] da coisa movida é igual à potência da coisa movida. Nenhum motor será capaz de mover qualquer móvel de forma mais rápida ou mais lenta do que a velocidade produzida por essa proporção, porque nenhuma outra proporção pode ser maior ou menor do que aquela em que o excesso de potência desse motor sobre seu móvel está relacionado à potência do móvel em sua totalidade (como é demonstrável pelo Teorema VII, Capítulo I)²²⁹ (BRADWARDINE, 1961, p. 93 e 95).

No caso acima, Bradwardine supõe o caso em que o excesso de força motriz (F) sobre a resistência/força do móvel (R), ou seja, a *diferença* entre ambas, equivale à resistência. Em tal situação, podemos interpretar que a força é igual ao dobro da resistência ($F = 2R$), de modo que a diferença entre as duas grandezas equivale à

²²⁸ No original: “Theory II. – The second theory of velocity which Bradwardine criticizes may be expressed thus: $kV = F - R/R$. In none of the pre-Bradwardine theorists whom we have examined does this combined variant of Theories I and III receive a full development; from the very cursory treatment accorded it, we might, indeed, be tempted to believe that no one had really considered it seriously. Theory II is, however, suggested by Averroes’ Comment 36, *Physics* VII (which Bradwardine cites as its authority) and was, therefore, not to be overlooked by anyone writing a treatise on the theory of velocity. It is interesting to note that this theory was, at last, seriously taken up by Giovanni Marliani, in the fifteenth century”.

²²⁹ Na tradução em inglês: “This theory should, however, be refuted as false. For just imagine the case in which the excess of the power of the mover over that of the thing moved is equal to the power of the thing moved. No mover will be able to move any mobile either faster or slower than the speed produced by this proportion, because no other proportion can be either greater or smaller than that whereby the excess of power of this mover over its mobile is related to the power of the mobile as a whole (as is demonstrable by Theorem VII, Chapter I)”.

resistência ($F-R = R$). Assim, todos os corpos móveis que apresentassem tal igualdade entre o excesso de força sobre a resistência ($F-R$) e a própria resistência (R) mover-se-iam com a mesma velocidade, independentemente da quantidade de força e de resistência envolvidas no movimento²³⁰.

Para melhor elucidar a questão, podemos imaginar uma comparação entre dois movimentos bastante distintos no que concerne às forças e resistências envolvidas. Suponhamos que uma formiga esteja carregando determinado alimento, sendo que a resistência a tal deslocamento seja a metade da força empregada pela formiga ($R = \frac{1}{2} F$), implicando que a força equivale ao dobro da resistência ($F = 2R$), para que então a equivalência entre o excesso de força sobre a resistência seja igual à resistência ($F-R = R$). Nesse caso, a velocidade (V) da formiga será igual a 1, dado que $V = F-R/R$. Agora, se ao invés da formiga imaginarmos o deslocamento de uma enorme pedra, mantendo as equivalências entre força e resistência que consideramos no primeiro exemplo ($F' = 2R'$, de modo que $F'-R' = R'$), a velocidade (V') da pedra também será igual a 1, pois $V' = F'-R'/R'$. Concluir-se-ia, portanto, que as velocidades da formiga e da pedra seriam iguais, já que, como diz Bradwardine, se houver a igualdade sugerida ($F-R = R$) nos dois movimentos, nenhum deles poderá ser mais rápido ou mais devagar do que o outro, pois as velocidades resultantes dessa proporção entre forças e resistências sempre serão iguais a 1, conforme sugere a passagem destacada na página anterior²³¹. Assim, para Bradwardine, a Teoria II é falsa²³².

²³⁰ Crosby explica a refutação de Bradwardine nos seguintes termos: “A primeira das duas refutações de Bradwardine a essa visão é muito engenhosa. Ele afirma que, se $F-R = R$, então ‘nenhum motor pode mover qualquer móvel mais rápido ou mais devagar do que esse movimento’. Isso se segue, porque (no Teorema VII, Capítulo I) demonstrou-se que nenhuma proporção pode ser maior ou menor do que uma proporção de igualdade, e, se $F-R = R$, então $F-R/R$ é uma proporção de igualdade. Por outro lado, [há] o caso no qual $F-R = R$ não seria um equilíbrio (desde que F exceda R) e, portanto, representaria uma determinada velocidade. Em resumo, se a Teoria II fosse verdadeira, tudo o que se movia se moveria com a mesma velocidade” (CROSBY, 1961, p. 35, grifo no original). No original: “The first of Bradwardine’s two refutations of this view is most ingenious. He claims that, if $F-R = R$, then ‘no mover can move any mobile faster or slower than that motion’. This follows, because (in Theorem VII, Chapter I) it has been demonstrated that no proportion can be greater or smaller than a proportion of equality, and, if $F-R = R$, then $F-R/R$ is a proportion of equality. At the same time, the case in which $F-R = R$ would not be one of equilibrium (since F exceeds R) and, hence, would represent a determinate velocity. In brief, if Theory II were true, everything that moved would move with the same velocity”.

²³¹ Para comprovar que a velocidade (V) sempre será igual a 1 se $V=F-R/R$, atribua-se um valor arbitrário para a força (F), e a metade deste valor para a resistência (R), para que então $F-R = R$.

²³² Conforme explica Custódio, “ou a teoria é um contrassenso ou afirma que todo móvel se move sempre com a mesma velocidade, determinada em função de sua potência resistiva, o que é falso” (CUSTÓDIO, 2004, p. 128).

Segundo Custódio, a segunda objeção de Bradwardine à Teoria II não chega a ser “uma refutação efetiva, apenas evidencia a incompletude da teoria” (CUSTÓDIO, 2004, p. 129)²³³. O argumento de Bradwardine é o de que a velocidade não resulta do excesso de potência do motor sobre a resistência empreendida pelo móvel, mas sim de uma proporção que considera a totalidade da força empregada pelo movente e da força resistiva do corpo movido. Diz ele:

Em segundo lugar, um poder movente move um móvel inteiramente primeiramente por meio de sua força total, e não por meio de um resíduo de sua força. Um movimento e sua velocidade variam primeira e essencialmente, portanto, com a relação, ou proporção, entre o poder total do motor e aquele [poder] da coisa movida, e não (exceto acidentalmente e de forma secundária) de acordo com a proporção de excesso²³⁴ (BRADWARDINE, 1961, p. 95, grifo do tradutor em inglês).

Ato contínuo, Bradwardine reafirma novamente a falsidade da teoria, voltando-se agora à análise da viabilidade da Teoria III,

“que afirma que: (com o poder movente permanecendo constante) a proporção das velocidades dos movimentos varia de acordo com a proporção das resistências, e (com a resistência permanecendo constante) que ela [proporção] varia de acordo com a proporção dos poderes moventes”²³⁵ (*ibid.*, p. 95, grifos do tradutor em inglês).

Segundo Bradwardine, essa teoria pode ser sustentada com base em várias passagens da *Física* e do *De caelo*²³⁶. Basicamente, trata-se da ideia de que se uma das variáveis permanece constante (a força motriz ou a resistência), a proporção entre as velocidades varia conforme a proporção da variável que não permaneceu constante.

²³³ Tal afirmação é corroborada por Crosby: “Bradwardine não desenvolve uma grande refutação dessa teoria” (CROSBY, 1961, p. 35). No original: “Bradwardine does not develop a grand refutation of this theory”.

²³⁴ Na tradução em inglês: “In the second place, a moving power moves a whole mobile primarily by means of its total strength, and not by means of a residuum of its strength. A motion and its speed vary primarily and essentially, therefore, with the relation, or proportion, between the entire power of the mover and that of the thing moved, and not (except accidentally and secondarily) according to a proportion of excess”.

²³⁵ Na tradução em inglês: “which claims that: (with the moving power remaining constant) the proportion of the speeds of motions varies in accordance with the proportion of resistances, and (with the resistance remaining constant) that it varies in accordance with the proportion of moving powers”.

²³⁶ Ver BRADWARDINE, 1961, p. 95 e 97.

Quanto à representação matemática da teoria, precisamos recorrer novamente a Crosby, que diz:

A terceira teoria é aquela que parece mais obviamente decorrente do escasso tratamento de Aristóteles sobre o assunto: a teoria que a velocidade é uma função diretamente proporcional às forças (ou seja, $kV = F/R$). Ostensivamente, essa é a teoria mantida pelos peripatéticos medievais²³⁷ (CROSBY, 1961, p. 35).

De fato, essa interpretação de Crosby acerca de qual formulação matemática descreveria melhor a Teoria III corresponde à notação moderna para a ideia aristotélica de velocidade²³⁸. Para Bradwardine, a teoria é “refutável por dois motivos: primeiro, [...] [por] insuficiência, segundo, porque ela gera consequências falsas”²³⁹ (BRADWARDINE, 1961, p. 97). A insuficiência deriva do fato de que a Teoria III não consegue determinar a proporção das velocidades na totalidade dos casos, mas apenas sob condições específicas, isto é, nas ocasiões em que as potências motoras ou as resistências são constantes²⁴⁰. Quanto às consequências falsas, Bradwardine pontua que, caso a proporção das velocidades esteja associada à proporção das resistências, a potência motora (constante) poderia, em tese, mover qualquer móvel, independentemente da quantidade dessa potência motora, dado que a variação de velocidade não dependeria dessa quantidade de força, mas unicamente da variação das resistências. A falsidade da teoria torna-se clara ao imaginarmos que um corpo de grande extensão poderia ser movido por uma potência motora irrisória, bem menor do que as resistências envolvidas, algo absurdo. Diz Bradwardine:

²³⁷ No original: “This third theory is the one which seems most obviously implied by Aristotle’s scanty treatment of the subject: the theory that velocity is a direct proportional function of forces (i.e., $kV = F/R$). Ostensibly, this is the theory held by the mediaeval Peripatetics”.

²³⁸ ÉVORA, 1993, p. 84-85, já citado nas notas de rodapé nº 78 (p. 51) e nº 225 (p. 131).

²³⁹ Na tradução em inglês: “refutable on two grounds: first, [...] insufficiency, second, because it yields false consequences”.

²⁴⁰ Diz Bradwardine: “Ela [a teoria] é insuficiente, porque não determina a proporção das velocidades dos movimentos exceto nos casos em que ou o motor ou o móvel são constantes. Quanto aos movimentos em que as forças motoras, assim como os móveis, são variados, ela [a teoria] nos diz quase nada” (BRADWARDINE, 1961, p. 97 e 99). Na tradução consultada: “It is insufficient, because it does not determine the proportion of the speeds of motions except in cases where either the mover or the mobile are constant. Concerning motions in which the moving forces, as well as the mobilia, are varied, it tells us almost nothing”.

A teoria deve, por outro lado, ser refutada em razão da falsidade, pelo fato de que uma determinada força motriz pode mover um dado móvel com um dado grau de lentidão e pode também causar um movimento duas vezes mais lento. De acordo com essa teoria, portanto, ela [força motriz] pode mover o dobro do móvel. E, uma vez que ela pode mover com quatro vezes mais lentidão, ela pode mover quatro vezes o móvel, e assim por diante ao infinito. Dessa forma, qualquer força motriz seria de capacidade infinita²⁴¹ (BRADWARDINE, 1961, p. 99).

Ademais, Bradwardine apresenta outra dificuldade, para os casos em que a resistência seria constante, ao invés da força motriz²⁴². Nesse caso, a proporção das velocidades dar-se-ia de acordo com a proporção entre as potências motoras; assim, sempre haveria movimento, mesmo que seja mínimo, a depender da quantidade de força envolvida. A falsidade dessa hipótese pode ser identificada pelo fato de que o movimento ocorreria independentemente da intensidade da resistência. Para ilustrar tal embaraço, imaginemos que uma pequena força poderia mover determinado corpo mesmo se a resistência deste fosse muito superior à potência motora, já que esta última seria a única determinante da velocidade do móvel. Evidentemente, tratar-se-ia de um resultado absurdo. Nas palavras de Bradwardine:

Um argumento similar pode ser apresentado do ponto de vista do móvel. Pois qualquer móvel pode ser movido com um determinado grau de lentidão, com o dobro desse grau, quatro vezes, e assim sucessivamente, sem-fim; e, portanto, para um dado motor, por sua metade, por um quarto dele, e assim por diante, interminavelmente. Qualquer móvel poderia, então, ser movido por qualquer motor²⁴³ (BRADWARDINE, 1961, p. 99, grifo do tradutor em inglês).

Embora tenha afirmado a existência de dois motivos para rejeitar a Teoria III, Bradwardine introduz um terceiro. Conforme aponta Custódio, nessa “terceira refutação Bradwardine apela, pela única vez no texto do *De proportionibus*, de modo elaborado, à

²⁴¹ Na tradução em inglês: “The theory is, on the other hand, to be refuted on the ground of falsity, for the reason that a given motive power can move a given mobile with a given degree of slowness and can also cause a motion of twice that slowness. According to this theory, therefore, it can move double the mobile. And, since it can move with four times the slowness, it can move four times the mobile, and so on ad infinitum. Therefore, any motive power would be of infinite capacity”.

²⁴² Segundo Custódio, a “segunda refutação é apenas uma variação da primeira” (CUSTÓDIO, 2004, p. 131).

²⁴³ Na tradução em inglês: “A similar argument may be made from the standpoint of the mobile. For any mobile may be moved with a given degree of slowness, with twice that degree, four times, and so on without end; and, therefore, by the given mover, and by half of it, one fourth of it, and so on, without end. Any mobile could, therefore, be moved by any mover”.

experiência comum” (CUSTÓDIO, 2004, p. 132). No argumento, Bradwardine recorre aos dados dos sentidos para reivindicar a falsidade da teoria:

Em terceiro lugar, a presente teoria deve ser refutada em razão da falsidade, porque a experiência sensorial nos mostra o contrário. Nós vemos, de fato, que se, a um único homem que está movendo algum peso que ele dificilmente pode manejar com um movimento muito lento, um segundo homem se junta, os dois juntos podem movê-lo [o peso] muito mais do que duas vezes mais rápido. O mesmo princípio é bastante evidente no caso de um peso suspenso por um eixo giratório, o qual se move insensivelmente durante o curso de seu próprio insensível movimento descendente (como acontece com os relógios). Se um relógio de igual peso é adicionado ao primeiro, o todo descenderá e o eixo, ou roda, mover-se-á muito mais do que duas vezes tão rapidamente (como é suficientemente evidente à visão)²⁴⁴ (BRADWARDINE, 1961, p. 99).

Em suma, Bradwardine apresentou duas situações nas quais, segundo ele, dobrar a força motora não resulta no dobro da velocidade. Assim, força e velocidade não seriam diretamente proporcionais, de modo que a Teoria III é falsa. Em relação à Teoria IV, Bradwardine diz:

Uma quarta teoria declara não haver qualquer proporção nem qualquer relação de excesso entre as potências motora e resistiva. Ela mantém que, ao invés de haver alguma proporção ou excesso de potência motora sobre a coisa movida, movimentos ocorrem de acordo com algum tipo de ‘predomínio natural’ do motor sobre o movido²⁴⁵ (*ibid.*, p. 105, grifos do tradutor em inglês).

Segundo o autor, a ideia subjacente à Teoria IV é a de que a potência motora não é um corpo e, portanto, não poderia ser maior ou menor do que outra potência. Bradwardine identifica a potência motora como sendo uma *forma*²⁴⁶ e, sendo de uma

²⁴⁴ Na tradução em inglês: “Thirdly, the present theory is to be refuted on the ground of falsity, because sense experience teaches us the opposite. We see, indeed, that if, to a single man who is moving some weight which he can scarcely manage with a very slow motion, a second man joins himself, the two together can move it much more than twice as fast. The same principle is quite manifest in the case of a weight suspended from a revolving axle, which it moves insensibly during the course of its own insensible downward movement (as is the case with clocks). If an equal clock weight is added to the first, the whole descends and the axle, or wheel, turns much more than twice as rapidly (as is sufficiently evident to sight)”.

²⁴⁵ Na tradução em inglês: “A fourth theory declares there to be neither any proportion nor any relation of excess between motive and resistive powers. It holds that, instead of there being some proportion or excess of motive power over thing moved, motions take place in accordance with some sort of ‘natural dominance’ of mover over moved”.

²⁴⁶ Diz Bradwardine: “nenhuma potência motora pode ser finita ou infinita, maior ou menor, ou de qualquer forma proporcional à potência da coisa que se move, porque nenhuma potência motora é um corpo, mas sim uma *forma* (extensiva dentro do corpo ou separada dele)” (BRADWARDINE, 1961, p.

natureza diferente da potência resistiva, não poderia ser comparada a ela, já que “uma proporção é uma comparação de duas coisas do mesmo tipo [...]. É óbvio, contudo, que as potências ativa [motora] e passiva [resistiva] não são do mesmo tipo”²⁴⁷ (BRADWARDINE, 1961, p. 105). Ademais, Bradwardine recorre à autoridade de Aristóteles e Averróis para negar a Teoria IV:

Em muitas passagens, Averróis diz que a potência do motor excede aquela da coisa movida, e que o motor é de maior poder do que a coisa movida. Se, portanto, ela [potência motora] “domina” e excede, e é de maior poder, isso deve necessariamente ocorrer de acordo com alguma proporção [...], e tanto Aristóteles quanto Averróis, em muitas passagens, supõem que haja alguma proporção entre a potência do motor para aquela [potência] da coisa movida²⁴⁸ (*ibid.*, p. 109).

Dito isso, Bradwardine assume a tese contrária, a de que “existe uma proporção entre qualquer potência motriz e a potência resistiva da coisa que ela move”²⁴⁹ (*ibid.*, p. 109); a Teoria IV, “portanto, juntamente com as anteriores, é pronunciada falsa”²⁵⁰ (*ibid.*, p. 111). Após analisar essas quatro teorias, Bradwardine inicia o Capítulo 3 do *Tractatus* apresentando a sua proposta para o cálculo das velocidades dos movimentos, a Teoria V:

Agora que esses nevoeiros de ignorância, esses sopros de demonstração, foram postos em fuga, resta para a luz do conhecimento e da verdade resplandecer. Pois o conhecimento verdadeiro propõe uma quinta teoria, que estabelece que a proporção das velocidades dos movimentos varia de acordo com a proporção da potência do motor em relação à potência da coisa movida²⁵¹ (*ibid.*, p. 111).

105, grifo meu). Na tradução em inglês: “no motive power can be either finite or infinite, greater or lesser, or in any way proportional to the power of the thing it moves, because no motive power is a body, but is rather a form (either extensive within the body or separate from it)”.

²⁴⁷ Na tradução em inglês: “a proportion is a comparison of two things of the same kind [...]. It is obvious, however, that active and passive powers are not of the same kind”.

²⁴⁸ Na tradução em inglês: “In many passages Averroes says that the power of the mover exceeds that of the thing moved, and that the mover is of greater power than the thing moved. If, therefore, it “dominates” and exceeds and is of greater power, this must necessarily take place according to some proportion [...], and both Aristotle and Averroes, in many passages, suppose there to be some proportion of the power of the mover to that of the thing moved”.

²⁴⁹ Na tradução em inglês: “proportion is found to exist between any motive power and the resistive power of the thing it moves”.

²⁵⁰ Na tradução em inglês: “therefore, together with the former ones, is pronounced false”.

²⁵¹ Na tradução em inglês: “Now that these fogs of ignorance, these winds of demonstration, have been put to flight, it remains for the light of knowledge and of truth to shine forth. For true knowledge

De acordo com Custódio, (2004, p. 139), Bradwardine defende que a teoria que acabara de apresentar consistia na verdadeira teoria aristotélica de mensuração das velocidades dos corpos, conforme a interpretação de Averróis no seu Comentário 71 ao Livro IV da *Física*²⁵², no Comentário 36 ao Livro II do *De caelo*²⁵³, e no Comentário 35 ao Livro VII da *Física*²⁵⁴. Nessa perspectiva, caso as proporções entre duas forças motoras e os respectivos corpos movidos sejam iguais, também haverá igualdade entre as duas velocidades resultantes. Prossegue Bradwardine:

“tanto Aristóteles quanto Averróis [...] expressam, em muitas passagens, a opinião de que, de uma igualdade de proporção entre motor e movido, segue-se a igualdade de velocidade. A igualdade da proporção de motores para os corpos movidos é, portanto, a condição causal que, quando satisfeita, postula uma velocidade igual de movimentos e que, quando não satisfeita, torna impossível uma igualdade de velocidades. A igualdade da proporção de motores para

proposes a fifth theory which states that the proportion of the speeds of motions varies in accordance with the proportion of the power of the mover to the power of the thing moved”.

²⁵² Diz Bradwardine: “o que Averróis pretende quando diz, no Comentário 71 sobre o Livro IV da *Física*: ‘É manifesto que, universalmente, a causa da diversidade e igualdade de movimento é a igualdade e diversidade da proporção do motor para a coisa movida. Se, portanto, existem dois motores e duas coisas movidas, e as proporções entre estes motores e as coisas que eles respectivamente movem são iguais, então os dois movimentos são de igual velocidade. Se a proporção é variada, o movimento é também variado nessa proporção’. Além disso, no mesmo comentário, ele também diz: ‘A diferença entre movimentos no tocante à lentidão e rapidez varia de acordo com a proporção entre as duas potências (nomeadamente, motriz e resistiva)’” (BRADWARDINE, 1961, p. 111). Na tradução em inglês: “what Averroes intends when he says, in Comment 71 on Book IV of the *Physics*: ‘It is manifest that, universally, the cause of the diversity and equality of motion is the equality and diversity of the proportion of mover to thing moved. If, therefore, there are two movers and two things moved, and the proportions between these movers and the things which they respectively move are equal, then the two motions are of equal speed. If the proportion is varied, the motion is also varied in that proportion’. Further on in the same comment, he also says: ‘The difference between motions with respect to slowness and fastness varies in accordance with the proportion between the two powers (namely, motive and resistive)’”.

²⁵³ Nas palavras de Bradwardine: “No Comentário 36, sobre o Livro II do *De caelo*, ele [Averróis] diz: ‘A rapidez e a lentidão não ocorrem de outro modo senão de acordo com a proporção da potência do motor em relação à coisa movida. Por mais que, portanto, a proporção seja maior, mais rápido será o movimento; e por mais que a proporção seja menor, mais lento será o movimento’” (*ibid.*, p. 111). Na tradução em inglês: “In Comment 36, on Book II of the *De caelo*, he says: ‘Fastness and slowness do not occur otherwise than in accordance with the proportion of the power of the mover to that of the thing moved. By however much, therefore, the proportion is greater, by so much will the motion be faster; and by however much the proportion is less, by so much will the motion be slower’”.

²⁵⁴ Diz Bradwardine: “No Comentário 35, sobre o Livro VII da *Física*, de uma duplicação da proporção do motor para o movido, ele [Averróis] argumenta uma duplicação da velocidade do movimento, como segue: ‘Se dividirmos o móvel em dois, necessariamente ocorre que a proporção da potência do motor para a coisa movida torna-se o dobro da proporção anterior, e assim a velocidade será duas vezes o que era antes’” (*ibid.*, p. 111). Na tradução em inglês: “In Comment 35, on Book VII of the *Physics*, from a doubling of the proportion of mover to moved he argues a doubling of the speed of the motion, as follows: ‘If we divide the mobile in two, it necessarily comes about that the proportion of the power of the mover to the thing moved becomes double the former proportion, and thus the speed will be twice what it was before’”.

os corpos movidos é, portanto, a causa primária e precisa da igualdade das velocidades dos movimentos, e à variação desta causa corresponde diretamente a variação de proporção entre diferentes movimentos”²⁵⁵ (BRADWARDINE, 1961, p. 111 e 113).

Bradwardine acrescenta que, com a explanação das cinco teorias, acredita ter apresentado todas as formas possíveis de considerar uma proporção entre as velocidades dos movimentos; e que, dado que as quatro primeiras propostas são falsas, a quinta deve ser a verdadeira²⁵⁶. Contudo, assim como ocorrera nos casos precedentes, o autor não apresenta uma formulação matemática da Teoria V, de modo que é novamente necessário recorrer às explicações de Crosby, que interpreta a ideia por meio de uma relação logarítmica que também consiste no primeiro dos doze teoremas que Bradwardine propôs na sequência:

$$V = \log_n(F/R) \text{ ou então } n^V = F/R$$

Contudo, deve-se ter em mente que a noção de logaritmo é posterior a Bradwardine, e assim a notação acima é uma elaboração moderna para o cálculo proposto pelo pensador medieval²⁵⁷. Além disso, a interpretação da “lei” de Bradwardine como sendo uma relação logarítmica é problemática porque o autor não sugeriu um valor que pudesse ser a base (n) do logaritmo. De toda maneira, a fórmula V

²⁵⁵ Na tradução em inglês: “both Aristotle and Averroes [...] express, in many passages, the opinion that, from an equality of proportion between mover and moved, there follows equality of speed. Equality of the proportion of movers to mobilia is, therefore, the causal condition which, when fulfilled, posits an equal speed of motions and which, when not fulfilled, makes impossible an equality of speeds. Equality of the proportion of movers to mobilia is, thus, the primary and precise cause of equality of the speeds of motions, and to the variation of this cause there directly corresponds the variation of proportion between different motions”.

²⁵⁶ Nas palavras de Bradwardine: “Ademais, não parece haver nenhuma teoria em que a proporção das velocidades dos movimentos pode ser racionalmente defendida, salvo se for uma daquelas já mencionadas. Já que, no entanto, as quatro primeiras foram desacreditadas, então a quinta deve ser a verdadeira” (BRADWARDINE, 1961, p. 113). Na tradução em inglês: “Furthermore, there does not seem to be any theory whereby the proportion of the speeds of motions may be rationally defended, unless it is one of those already mentioned. Since, however, the first four have been discredited, therefore the fifth must be the true one”.

²⁵⁷ Conforme explica Crosby, trata-se de “uma demonstração moderna da teoria geral citada anteriormente. Em certo sentido, ela [demonstração] é um axioma ao invés de um teorema, visto que seus componentes físicos não podem, obviamente, ser justificados por uma prova matemática. É, contudo, um teorema (ou, nas palavras de Bradwardine, uma conclusão), no sentido de que é tido como tendo sido provado pela refutação das quatro teorias precedentes” (CROSBY, 1961, p. 38). No original: “the modernized statement of the general theory quoted above. In a certain sense, it is an axiom rather than a theorem, since its physical components cannot, of course, be justified by a mathematical proof. It is, however, a theorem (or, in Bradwardine's words, a conclusio) in the sense that it is taken to have been proved by the refutation of the four preceding theories”.

= $\log_n (F/R)$ é útil para demonstrar, por exemplo, que um corpo cuja potência motora seja igual à resistência teria uma velocidade nula, ou seja, igual a zero ($V = 0$). Tal ideia corresponde exatamente ao enunciado do Teorema VIII à Teoria V, que diz: “Nenhum movimento se segue a partir de uma proporção de igualdade [...] entre o motor e o movido”²⁵⁸ (BRADWARDINE, 1961, p. 115). Para exemplificar, podemos considerar que o valor da força (F) e da resistência (R) é 1; assim, com a interpretação logarítmica da teoria de Bradwardine, temos:

$$V = \log_n (F/R)$$

$$V = \log_n (1/1)$$

$$V = \log_n (1)$$

$$V = 0$$

Nesse caso, considerando que $F = R$, o resultado da divisão de ambas sempre será 1, e como $\log_n (1)$ é sempre zero (independente do valor da base n), o cálculo demonstra inequivocamente que não poderia haver movimento quando a potência motora e a resistência possuísem valores iguais. Na interpretação comum da concepção aristotélica de velocidade ($V = F/R$), tal resultado não ocorre, já que o valor da velocidade é determinado simplesmente pela divisão de F por R , de modo que se $F = R$, então $V = 1$; conseqüentemente, um corpo estaria em movimento mesmo se a resistência a este fosse equivalente à potência motora, o que é absurdo.

Feita essa observação a respeito de uma possível aplicabilidade da fórmula $V = \log_n (F/R)$, deve-se atentar agora que a intenção de Bradwardine era mostrar como se daria a *comparação entre duas velocidades*, e não simplesmente o cálculo da velocidade absoluta de um corpo (quando a potência e a resistência seriam invariáveis, como no caso acima, em que $F = R$). Conforme já apontado na explanação acerca da Teoria III²⁵⁹, a fórmula $V = F/R$ não poderia ser usada para calcular a variação entre velocidades, já que as forças não lhe são diretamente proporcionais. Entretanto, David Lindberg oferece um exemplo do cálculo de Bradwardine após a utilização da fórmula

²⁵⁸ Na tradução em inglês: “No motion follows from either a proportion of equality [...] between mover and moved”.

²⁵⁹ Ver p. 134-137 deste texto.

$V = F/R$ para calcular, individualmente, a velocidade de um corpo em dois momentos, e sujeito a diferentes forças (sendo a resistência constante):

Comece com a terceira teoria, ($V \propto F/R$). Aplique uma força (F_1) de intensidade 4, então uma força (F_2) de intensidade 16, a um corpo que oferece uma resistência (R) de 2. Calcule as razões de F/R .

$$F_1/R = 4/2 = 2$$

$$F_2/R = 16/2 = 8$$

Qual será a razão das velocidades V_2 para V_1 ? Não [será] 4 (o *multiplicador* que deve ser aplicado à 2 a fim de produzir 8), mas 3 (a *potência* à qual 2 deve ser elevado para obter 8)²⁶⁰ (LINDBERG, 2007, p. 312).

Ou seja, a razão entre as velocidades V_2 e V_1 não é dada pelo quociente resultante da divisão de V_2 por V_1 (isto é, 4), mas pelo *expoente* pelo qual V_1 (2) deve ser elevado para obter a igualdade com a V_2 (8), que é 3. Consequentemente, enquanto a força do corpo quadruplicou (de 4 para 16), a velocidade *triplicou*, dado que $\log_2(8) = 3$. Se fôssemos utilizar a notação logarítmica, ficaria do seguinte modo:

$$V = \log_n(F/R)$$

$$V = \log V_1(V_2)$$

$$V = \log_2(8)$$

$$V = 3$$

Logo, força e velocidade não são diretamente proporcionais, pois a velocidade aumenta em um ritmo mais lento do que ocorre com a força. Em outras palavras, enquanto a razão F/R aumenta geometricamente, a velocidade aumenta aritmeticamente, conforme explica Lindberg:

Talvez a maneira moderna mais simples de expressar a relação matemática que Bradwardine tinha em mente seja afirmar que, de acordo com sua "lei", a velocidade aumenta aritmeticamente conforme a razão F/R aumenta geometricamente. Isto é, a fim de dobrar a velocidade, devemos elevar ao quadrado a razão F/R ; para triplicar a

²⁶⁰ No original: "Begin with the third theory, ($V \propto F/R$). Apply a force (F_1) of strength 4, then a force (F_2) of strength 16, to a body that offers a resistance (R) of 2. Calculate the F/R ratios.

$F_1 / R = 4 / 2 = 2$

$F_2 / R = 16 / 2 = 8$

What will be the ratio of the velocities V_2 to V_1 ? Not 4 (the *multiplier* that must be applied to 2 in order to yield 8) but 3 (the *power* to which 2 must be raised to yield 8)".

velocidade, devemos elevar ao cubo a razão F/R ; e assim sucessivamente²⁶¹ (LINDBERG, 2007, p. 311-312).

Entretanto, é importante frisar que o autor não pretendeu refutar a concepção aristotélica de velocidade, mas sim *reinterpretá-la* da maneira que julgava correta. Trata-se, pois, da tentativa de explicar o que o próprio Estagirita acreditava ser a verdade, conforme sugere Custódio:

[...] reafirmo que o cálculo não é visto pelo autor como a instauração de uma nova ciência, mas como a restauração do sentido original de Aristóteles para as passagens da *Física* que tratam da velocidade [...]. Por fim, [...] a despeito de tencionar um retorno a Aristóteles, o sentido do termo movimento, utilizado por Bradwardine, estabelece um novo problema e uma nova forma de pesquisa. O novo problema e a nova forma de pesquisa, indissociáveis da linguagem das proporções, estão a um passo da fundação de uma nova ciência (CUSTÓDIO, 2004, p. 134).

Aqui, cabe considerar o significado da expressão “linguagem das proporções”. Segundo o comentador, “o termo ‘proporção’ é equivalente ao termo contemporâneo ‘razão’ e não deve ser compreendido como ‘igualdade de razões’” (*ibid.*, p. 158). Ou seja, o cálculo de Bradwardine diz respeito à razão entre potências (P) e resistências (R), de modo a descobrir qual o *expoente* que determina a razão entre velocidades (digamos, entre as velocidades V_2 e V_1). Da mesma forma em que a razão entre V_2 e V_1 foi encontrada por meio da relação logarítmica $V = \log_n (F/R)$, tal resultado também pode ser obtido mediante um “cálculo entre razões”, a fim de determinar uma relação proporcional exponencial entre elas. Conforme sugerido por Custódio (2004, p. 163), poderíamos formalizar essa “proporção das proporções”²⁶² por meio da expressão $P_2/R_2 = (P_1/R_1)^n$, na qual o expoente “ n ” (que devemos determinar) representa a relação proporcional exponencial entre V_2 e V_1 ($n = V_2/V_1$). Para o caso anteriormente considerado, teríamos:

²⁶¹ No original: "Perhaps the simplest modern way of expressing the mathematical relationship that Bradwardine had in mind is to state that according to his 'law' velocity increases arithmetically as the ratio F/R increases geometrically. That is, in order to double the velocity, we must square the ratio F/R ; to triple the velocity, we must cube the ratio F/R ; and so on".

²⁶² De acordo com Custódio (2004, p. 158), Posteriormente, o conceito de “proporção de proporções” foi nomeado e desenvolvido por Nicole Oresme em seu *De proportionibus proportionum*.

$$P_2/R_2 = (P_1/R_1)^n$$

$$16/2 = (4/2)^n$$

$$8 = (2)^n$$

$$8 = 2^n$$

$$2^3 = 2^n$$

$$3 = n$$

Por fim, Lindberg destaca que o trabalho de Bradwardine influenciou outros autores, nomeadamente Oresme; e que sua contribuição à ciência do movimento foi eminentemente matemática, de modo que coube aos estudiosos subsequentes a investigação acerca da compatibilidade da teoria com a natureza. Nas palavras do comentador,

“a formulação de Bradwardine de uma ‘lei da dinâmica’ se mostrou influente. Suas implicações foram brilhantemente desenvolvidas por Richard Swineshead e Nicole Oresme no século XIV, e a lei continuou a ser discutida até o século XVI. [...] [E], qualquer que seja nossa avaliação precisa do feito de Bradwardine, devemos admitir que seu empreendimento foi inconfundivelmente matemático. É verdade que sua refutação das alternativas incluía apelar para a experiência cotidiana, mas é claro que seu objetivo principal era satisfazer os critérios de coerência matemática. Em suma, Bradwardine nem descobriu nem defendeu sua ‘lei’ por meios experimentais; nem está claro quais benefícios uma abordagem experimental, se ele tivesse se inclinado a adotá-la, poderia ter proporcionado. A tarefa empreendida pelos estudiosos medievais foi a formulação de uma estrutura conceitual e matemática apropriada para analisar problemas de movimento. Sem dúvida, essa era a primeira tarefa e os estudiosos medievais executaram-na brilhantemente. A tarefa adicional de interrogar a mãe natureza, a fim de descobrir se ela aceitaria a estrutura conceitual assim formulada, foi deixada para as gerações futuras”²⁶³ (LINDBERG, 2007, p. 312-313).

²⁶³ No original: "Bradwardine's formulation of a 'law of dynamics' proved influential. Its implications were brilliantly worked out by Richard Swineshead and Nicole Oresme in the fourteenth century, and the law continued to be discussed as late as the sixteenth century. [...] whatever our precise evaluation of Bradwardine's achievement, we must acknowledge that his enterprise was unmistakably a mathematical one. It is true that his refutation of the alternatives included appeal to everyday experience, but it is clear that his primary aim was to satisfy the criteria of mathematical coherence. In short, Bradwardine neither discovered nor defended his 'law' by experimental means; nor is it clear what benefits an experimental approach, if he had been inclined to adopt it, could have rendered. The task undertaken by medieval scholars was the formulation of a conceptual and a mathematical framework suitable for analyzing problems of motion. Surely this was the first order of business, and medieval scholars executed it brilliantly. The further task of interrogating mother nature, in order to find out whether she would accept the conceptual framework thus formulated, was left to future generations".

3.3.2 William Heytesbury

Pertencente à segunda geração dos “calculadores de Merton”²⁶⁴, William Heytesbury (c. 1313 – 1372/3) continuou os estudos matemáticos elaborados anos antes por Bradwardine, com contribuições originais. Heytesbury permaneceu em Merton aproximadamente dez anos²⁶⁵, período no qual desenvolveu várias obras, incluindo as *Regulae solvendi sophismata* (algo como “Regras para resolver sofismas”)²⁶⁶, datada de 1335²⁶⁷. Nesse trabalho, destinado a iniciantes em lógica, Heytesbury discute a resolução de falácias comuns, mas a importância histórica da obra origina-se no fato de que, em sua última seção, apresenta a definição de um movimento *uniforme*, *não uniforme* e *acelerado*, bem como o chamado *teorema da velocidade média*.

No “Prólogo” da Parte VI das *Regulae*, Heytesbury defende a existência de três tipos de movimento local, sendo que a mensuração da velocidade é diferenciada para cada um desses deslocamentos²⁶⁸. A princípio, o autor trata do movimento uniforme, que ocorre mediante uma *velocidade uniforme*, conforme segue:

Embora a mudança de lugar seja de diversos tipos, e seja variada de acordo com várias diferenças essenciais bem como acidentais, mesmo assim será suficiente para os nossos propósitos distinguir movimento

²⁶⁴ HANKE & JUNG, 2022. McFadden (2022, p. 85) menciona que Heytesbury pertence a “outra geração de acadêmicos de Merton”.

²⁶⁵ Segundo Clagett (1961, p. 200), Heytesbury é mencionado nos registros de Merton em 1330, 1338 e 1339.

²⁶⁶ Em inglês, “Rules for Solving Sophisms” (*ibid.*, p. 235).

²⁶⁷ *Ibid.*, p. 200.

²⁶⁸ Diz Heytesbury: “Há três categorias ou modos genéricos em que o movimento, no sentido estrito, pode ocorrer. Pois tudo o que é movido é alterado ou em seu lugar, ou em sua quantidade, ou em sua qualidade. E visto que, em geral, qualquer movimento sucessivo é rápido ou lento, e uma vez que nenhum método de determinação de velocidade é aplicável no mesmo sentido a todos os três tipos de movimento, será apropriado mostrar como qualquer mudança desse tipo pode ser distinguida de outra mudança de seu próprio tipo, quanto à velocidade ou lentidão. E porque o movimento local é anterior em natureza aos outros tipos, como o tipo primário, realizaremos nossa intenção nesta seção, quanto ao movimento local, antes de tratar dos outros tipos” (HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 235). Na tradução em inglês: “There are three categories or generic ways in which motion, in the strict sense, can occur. For whatever is moved, is changed either in its place, or in its quantity, or in its quality. And since, in general, any successive motion whatever is fast or slow, and since no single method of determining velocity is applicable in the same sense to all three kinds of motion, it will be suitable to show how any change of this sort may be distinguished from another change of its own kind, with respect to speed or slowness. And because local motion is prior in nature to the other kinds, as the primary kind, we will carry out our intention in this section, with respect to local motion, before treating of the other kinds”.

uniforme de movimento não uniforme. Dos movimentos locais, então, aquele movimento é chamado uniforme, em que uma distância igual é continuamente percorrida com igual velocidade em um igual período. O movimento não uniforme pode, por outro lado, ser variado em um número infinito de maneiras, tanto em relação à magnitude quanto em relação ao tempo²⁶⁹ (HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 235).

Assim, de acordo com Heytesbury, no movimento uniforme distâncias iguais são percorridas em um tempo igual, com velocidade constante. Tal velocidade seria medida por meio da trajetória linear do ponto que está em um movimento mais rápido. Ou seja, Heytesbury introduz uma sutileza em sua explicação acerca da uniformidade do movimento, considerando que este pode ser formado por deslocamentos menores que não são exatamente iguais, sendo alguns mais rápidos e outros mais lentos, mas que ao final formam um movimento que, em sua totalidade, será considerado uniforme. Para Heytesbury, então, para que um movimento seja uniforme não é necessário que todos os deslocamentos que o compõem sejam idênticos, mas apenas que, dentre estes, o deslocamento mais rápido (caso exista) seja constante. Nas palavras do autor:

No movimento uniforme, então, a velocidade de uma magnitude em sua totalidade é em todos os casos medida (*metietur*) por uma trajetória linear percorrida pelo ponto que está em movimento mais rápido, se existir tal ponto. E de acordo com a posição desse ponto estar mudando uniformemente ou desigualmente, o movimento completo do corpo todo é dito ser uniforme ou disforme (não uniforme). Portanto, dada uma magnitude cujo ponto que se move mais rapidamente está se movendo uniformemente, então, por mais que os pontos restantes possam estar se movendo de maneira não uniforme, essa magnitude como um todo é dita estar em movimento uniforme²⁷⁰ (HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 235-236).

Na sequência, Heytesbury apresenta o segundo tipo de movimento, de caráter não-uniforme, resultante de uma *velocidade não-uniforme*. Essa velocidade pode ser entendida como a distância que seria percorrida pelo corpo em determinado tempo, se a

²⁶⁹ Na tradução em inglês: “Although change of place is of diverse kinds, and is varied according to several essential as well as accidental differences, yet it will suffice for our purposes to distinguish uniform motion from nonuniform motion. Of local motions, then, that motion is called uniform in which an equal distance is continuously traversed with equal velocity in an equal part of time. Nonuniform motion can, on the other hand, be varied in an infinite number of ways, both with respect to the magnitude, and with respect to the time”.

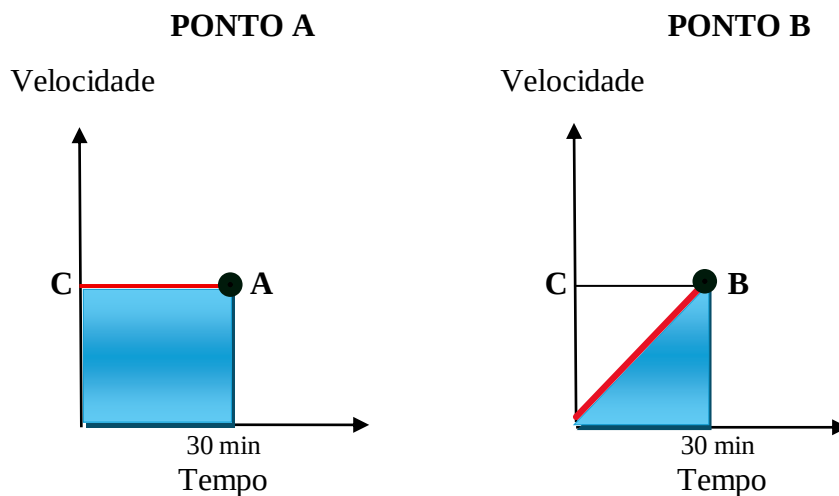
²⁷⁰ Na tradução em inglês: “In uniform motion, then, the velocity of a magnitude as a whole is in all cases measured (*metietur*) by the linear path traversed by the point which is in most rapid motion, if there is such a point. And according as the position of this point is changed uniformly or nonuniformly, the complete motion of the whole body is said to be uniform or difform (non-uniform). Thus, given a magnitude whose most rapidly moving point is moved uniformly, then, however much the remaining points may be moving nonuniformly, that magnitude as a whole is said to be in uniform movement”.

velocidade daquele instante específico fosse constante por um dado período. Para Heytesbury, dois corpos que apresentem igual velocidade não percorrem necessariamente a mesma distância: um corpo poderia partir do repouso e alcançar a mesma velocidade de outro corpo cuja velocidade manteve-se invariável desde o princípio; evidentemente, o segundo corpo percorreu uma distância maior do que o primeiro, já que enquanto este partiu do repouso, aquele já iniciou o movimento com uma dada velocidade. Tal situação hipotética é proposta por Heytesbury, que diz:

No movimento não-uniforme, porém, a velocidade em qualquer instante dado será medida (*attendetur*) pelo percurso que seria descrito pelo ponto que se move mais rapidamente se, em um período, ele fosse movido uniformemente no mesmo grau de velocidade (*uniformiter illo gradu velocitatis*) com o qual ele é movido nesse dado instante, seja qual for o [instante] destacado. Suponha que o ponto *A* seja continuamente acelerado durante uma hora. Não é necessário, então, que, em qualquer instante dessa hora como um todo, sua velocidade seja medida pela reta que esse ponto descreve nessa hora. Pois não é necessário, a fim de que quaisquer dois pontos ou quaisquer outros dois objetos em movimento sejam movidos com velocidade igual, que eles devam percorrer espaços iguais em um tempo igual; mas é possível que percorram espaços desiguais, em qualquer proporção que quiser. Suponha que o ponto *A* se mova contínua e uniformemente em um grau de velocidade *C*, por uma hora, e que percorra uma distância de um pé. E suponha que o ponto *B* comece a se mover, partindo do repouso, e na primeira metade dessa hora acelere sua velocidade para o grau *C*, enquanto na segunda meia hora desacelere dessa velocidade para o repouso. Então, constata-se que, no instante médio de toda a hora, o ponto *B* se moverá com o grau de velocidade *C*, e será totalmente igual à velocidade do ponto *A*. E ainda assim, no instante médio daquela hora, *B* não terá percorrido uma reta tão longa quanto *A*, mantidas as demais condições. De maneira semelhante, o ponto *B*, percorrendo uma reta finita tão pequena quanto quiser, pode ser acelerado em seu movimento além de qualquer limite; pois, na primeira parte proporcional desse tempo, ele [ponto] pode ter certa velocidade, e na segunda parte proporcional, o dobro dessa velocidade, e na terceira parte proporcional, quatro vezes essa velocidade, e assim por diante, sem limite. Disto se segue claramente que tal velocidade não uniforme ou instantânea (*velocitas instantanea*) não é medida pela distância percorrida, mas pela distância que seria percorrida por tal ponto, se ele fosse movido uniformemente durante tal ou tal período naquele grau de velocidade com o qual é movido naquele designado instante²⁷¹ (HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 236).

²⁷¹ Na tradução em inglês: “In nonuniform motion, however, the velocity at any given instant will be measured (*attendetur*) by the path which *would* be described by the most rapidly moving point if, in a period of time, it were moved uniformly at the same degree of velocity (*uniformiter illo gradu velocitatis*) with which it is moved in that given instant, whatever [instant] be assigned. For suppose that the point *A* will be continuously accelerated throughout an hour. It is not then necessary that, in any instant of that hour as a whole, its velocity be measured by the line which that point describes in that hour. For it is not required, in order that any two points or any other two moving things be moved at equal velocity, that they should traverse equal spaces in an equal time; but it is possible that they traverse unequal spaces, in whatever proportion you may please. For suppose that point *A* is moved continuously and uniformly at *C* degrees of velocity, for an hour, and that it traverses a distance of a foot. And suppose that point *B*

Podemos representar graficamente o exemplo de Heytesbury da seguinte forma:

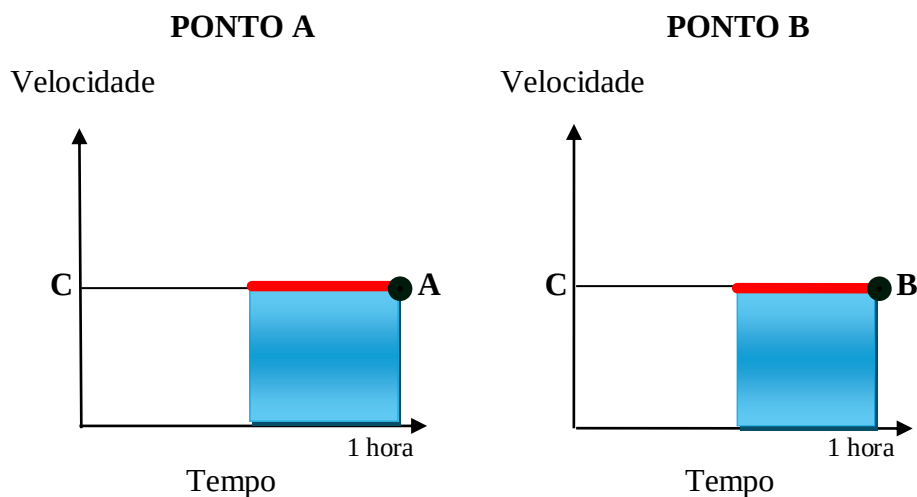


À esquerda, temos o gráfico que ilustra a trajetória (linha vermelha) do ponto A (em preto), que se desloca uniformemente com uma velocidade C , durante uma hora, sendo que na metade desse tempo o ponto percorreu a área preenchida do quadrado. Analogamente, o gráfico ao lado representa o percurso do ponto B, que após 30 minutos também alcança a velocidade C , tendo partido do repouso. Assim, nesse instante específico, A e B se moverão com a mesma velocidade, embora o ponto B tenha trilhado apenas a metade do espaço percorrido por A, ou seja, a área preenchida pelo triângulo²⁷². Mantendo-se em movimento uniforme, o ponto A percorrerá na segunda

commences to move, from rest, and in the first half of that hour accelerates its velocity to C degrees, while in the second half hour it decelerates from this velocity to rest. It is then found that at the middle instant of the whole hour point B will be moving at C degrees of velocity, and will fully equal the velocity of the point A. And yet, at the middle instant of that hour, B will not have traversed as long a line as A, other things being equal. In similar manner, the point B, traversing a finite line as small as you please, can be accelerated in its motion beyond any limit; for, in the first proportional part of that time, it may have a certain velocity, and in the second proportional part, twice that velocity, and in the third proportional part, four times that velocity, and so on without limit. From this it clearly follows, that such a nonuniform or instantaneous velocity (*velocitas instantanea*) is not measured by the distance traversed, but by the distance which *would* be traversed by such a point, *if* it were moved uniformly over such or such a period of time at that degree of velocity with which it is moved in that assigned instant”.

²⁷² Mais adiante, Heytesbury diz: “Destas considerações, segue-se que, quando qualquer corpo móvel é uniformemente acelerado do repouso até um dado grau [de velocidade], ele irá, nesse tempo, percorrer metade da distância que percorreria se, nesse mesmo tempo, fosse movido uniformemente com o grau [de velocidade] que termina nessa latitude. Pois esse movimento, como um todo, corresponderá ao grau médio dessa latitude, o qual é precisamente a metade do grau que é sua velocidade final” (HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 271). Na tradução em inglês: “From the foregoing it follows that when any mobile body is uniformly accelerated from rest to some given degree [of velocity], it will in that time traverse one-half the distance that it would traverse if, in that same time, it were moved uniformly at the degree [of velocity] terminating that latitude. For that motion, as a whole, will correspond to the mean degree of that latitude, which is precisely one-half that degree which is its terminal velocity”.

metade do tempo uma área análoga à percorrida nos primeiros 30 minutos, e caso a velocidade instantânea de *B* (isto é, *C*) se torne constante (portanto, igual a de *A*), ambos percorreriam áreas equivalentes, conforme ilustra o gráfico seguinte:



A ideia de Heytesbury pode ser exemplificada por meio de uma situação cotidiana atual: podemos imaginar que o velocímetro de um automóvel indique que o veículo se desloca a uma velocidade de 60 quilômetros por hora (60 Km/h), ou seja, que esta é a sua velocidade instantânea. Da mesma forma como ocorre com o ponto *B*, cuja velocidade instantânea *C* não representa a distância já percorrida, mas a distância que *seria* percorrida em determinado tempo caso *B* mantivesse a velocidade *C*, no exemplo do automóvel, a velocidade instantânea de 60 Km/h não significa que o carro já percorreu esta distância (pode ou não o ter feito), mas que, mantida tal velocidade, deslocar-se-á 60 quilômetros dentro de uma hora.

Heytesbury trata dos conceitos de *aceleração* e *desaceleração*, ou seja, da variação da velocidade, dizendo que ambas podem ser uniformes (quando o acréscimo ou decréscimo de velocidade ocorre de maneira igual em tempo igual) ou não uniformes (quando, em tempos iguais, a velocidade aumenta ou diminui de modo desigual):

Com relação à aceleração (*intensio*) e desaceleração (*remissio*) do movimento local, contudo, deve-se notar que existem duas formas pelas quais um movimento pode ser acelerado ou desacelerado: ou seja, uniformemente ou não uniformemente. Pois qualquer movimento, seja qual for, é uniformemente acelerado (*uniformiter intenditur*) se, em cada uma de quaisquer partes iguais de qualquer tempo, ele adquire um incremento igual (*latitudo*) de velocidade. E tal movimento é uniformemente desacelerado se, em cada uma de

quaisquer partes iguais do tempo, ele perde um incremento igual de velocidade. Mas um movimento é não uniformemente acelerado ou desacelerado quando ele adquire ou perde um incremento maior de velocidade em uma parte do tempo do que em outra parte igual²⁷³ (HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 236-237).

Esclarecidos esses conceitos, Heytesbury enuncia a ideia que ficou conhecida como o *teorema da velocidade média*, segundo o qual um corpo em movimento uniformemente acelerado, partindo do repouso ou do seu grau máximo de velocidade, percorre uma distância igual à distância que seria percorrida por ele caso estivesse em movimento uniforme, com uma velocidade constante igual à metade da velocidade alcançada por meio do movimento acelerado. Nas palavras de Heytesbury:

Pois, quer comece a partir do grau zero ou de algum grau [finito], toda latitude, desde que seja finalizada em algum grau finito, e desde que seja adquirida ou perdida uniformemente, corresponderá ao seu grau médio [de velocidade]. Dessa forma, o corpo em movimento, adquirindo ou perdendo essa latitude uniformemente durante um período de tempo determinado, percorrerá uma distância exatamente igual à que percorreria em um período de tempo igual se fosse movido uniformemente no seu grau médio [de velocidade]²⁷⁴ (*ibid.*, p. 270).

Anteriormente, Heytesbury demonstrou que um corpo uniformemente acelerado, ao chegar ao seu ponto médio de velocidade, terá percorrido apenas a metade da distância percorrida por um corpo em movimento uniforme²⁷⁵. Contudo, no caso do teorema da velocidade média, a distância considerada corresponde a todo o espaço percorrido pelos dois corpos, que deverá ser igual. Assim, caso o corpo em movimento acelerado parta do repouso e ao atingir o ponto médio de velocidade tenha percorrido $\frac{1}{2}$ da distância percorrida pelo corpo em movimento uniforme, na segunda metade do

²⁷³ Na tradução em inglês: “With regard to the acceleration (*intensio*) and deceleration (*remissio*) of local motion, however, it is to be noted that there are two ways in which a motion may be accelerated or decelerated: namely, uniformly, or nonuniformly. For any motion whatever is *uniformly accelerated* (*uniformiter intenditur*) if, in each of any equal parts of the time whatsoever, it acquires an equal increment (*latitudo*) of velocity. And such a motion is uniformly decelerated if, in each of any equal parts of the time, it loses an equal increment of velocity. But a motion is *nonuniformly accelerated or decelerated*, when it acquires or loses a greater increment of velocity in one part of the time than in another equal part”.

²⁷⁴ Na tradução em inglês: “For whether it commences from zero degree or from some [finite] degree, every latitude, as long as it is terminated at some finite degree, and as long as it is acquired or lost uniformly, will correspond to its mean degree [of velocity]. Thus the moving body, acquiring or losing this latitude uniformly during some assigned period of time, will traverse a distance exactly equal to what it would traverse in an equal period of time if it were moved uniformly at its mean degree [of velocity]”.

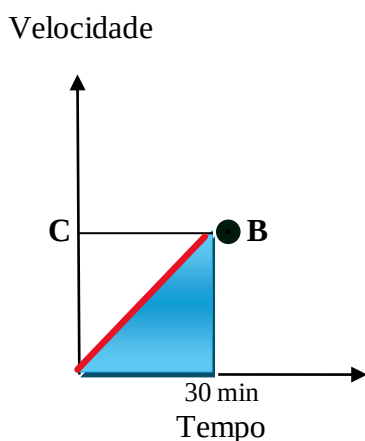
²⁷⁵ Ver a página 147 deste texto.

tempo o corpo uniformemente acelerado percorrerá o triplo da distância percorrida na primeira etapa do movimento. Sobre isso, explica Heytesbury:

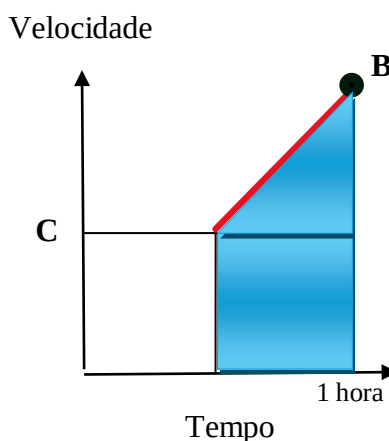
Pelo exposto, é possível determinar suficientemente, para este tipo de aceleração ou desaceleração uniforme, quão grande distância será percorrida, mantidas as demais condições, na primeira metade do tempo e quanta [distância] na segunda metade. Pois quando a aceleração de um movimento ocorre uniformemente do grau zero [de velocidade] para algum grau [de velocidade], a distância que ele percorrerá na primeira metade do tempo será exatamente um terço daquela que percorrerá na segunda metade do tempo²⁷⁶ (HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 272).

Para melhor compreender o argumento exposto acima, vamos considerar novamente o deslocamento do ponto *B*, que ao invés de manter a velocidade *C* (obtida na metade do tempo do percurso), prosseguiu com seu movimento uniformemente acelerado, aumentando a velocidade. No gráfico à esquerda, temos a representação do movimento de *B* a partir do repouso até alcançar a velocidade média *C*; e no gráfico direito, a continuidade do movimento acelerado na segunda metade do tempo, até o deslocamento cessar:

PONTO B (0 a 30 min)



PONTO B (30 min à 1 hora)



Como pontuou Heytesbury, na metade final do movimento, o ponto *B* percorre três vezes a distância percorrida nos primeiros 30 minutos, conforme área preenchida no gráfico à direita, correspondente ao triplo da área do triângulo à esquerda. De modo

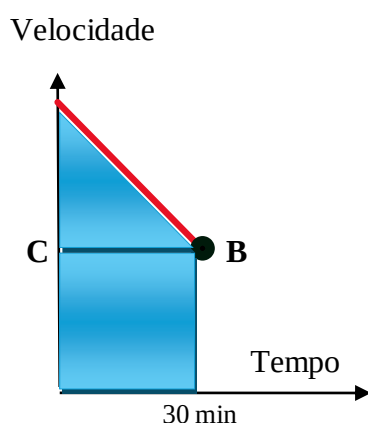
²⁷⁶ Na tradução em inglês: “From the foregoing it can be sufficiently determined for this kind of uniform acceleration or deceleration how great a distance will be traversed, other things being equal, in the first half of the time and how much in the second half. For when the acceleration of a motion takes place uniformly from zero degree [of velocity] to some degree [of velocity], the distance it will traverse in the first half of the time will be exactly one-third of that which it will traverse in the second half of the time”.

inverso, caso o corpo inicie seu movimento com o grau máximo de velocidade, que a partir de então decai continuamente, a distância percorrida na primeira metade do tempo será três vezes superior à distância percorrida na segunda parte (da velocidade média para o repouso). Nas palavras de Heytesbury:

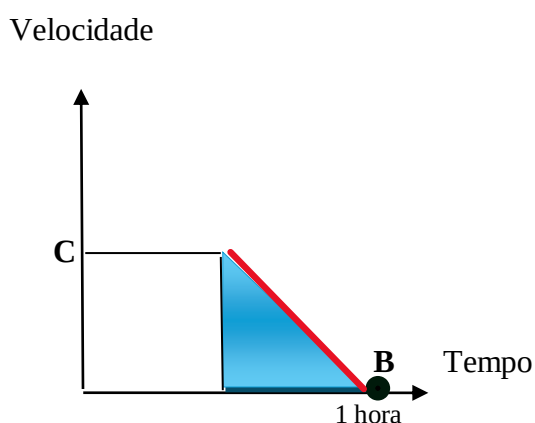
E se, inversamente, a partir desse mesmo grau [de velocidade] ou de qualquer outro grau, seja qual for, houver desaceleração uniforme até o grau zero [de velocidade], a distância percorrida na primeira metade do tempo será exatamente três vezes [aquela que] será percorrida na segunda metade. Pois todo movimento como um todo, completado em um período inteiro de tempo, corresponde ao seu grau médio [de velocidade] — nomeadamente, ao grau que terá no instante médio do tempo. E a segunda metade do movimento em questão corresponderá ao grau médio da segunda metade desse mesmo movimento, que é um quarto do grau [de velocidade] que encerra essa latitude. Consequentemente, uma vez que essa segunda metade durará apenas pela metade do tempo, exatamente um quarto da distância será percorrido nessa segunda metade [...]. Assim, de toda a distância percorrida por todo o movimento, três quartos serão percorridos na primeira metade de todo o movimento, e o último quarto será percorrido em sua segunda metade²⁷⁷ (HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 272-273).

Representando graficamente o movimento uniformemente desacelerado descrito acima, verificamos que, nos primeiros 30 minutos o ponto *B* percorre três vezes a distância percorrida na última meia-hora de deslocamento:

PONTO B (0 a 30 min)



PONTO B (30 min à 1 hora)



²⁷⁷ Na tradução em inglês: “And if, contrariwise, from that same degree [of velocity] or from any other degree whatsoever, there is uniform deceleration to zero degree [of velocity], exactly three times the distance will be traversed in the first half of the time, as will be traversed in the second half. For every motion as a whole, completed in a whole period of time, corresponds to its mean degree [of velocity] — namely, to the degree it will have at the middle instant of the time. And the second half of the motion in question will correspond to the mean degree of the second half of that same motion, which is one-fourth of the degree [of velocity] terminating that latitude. Consequently, since this second half will last only through half the time, exactly one-fourth of the distance will be traversed in that second half [...]. Therefore, of the whole distance being traversed by the whole motion, three-quarters will be traversed in the first half of the whole motion, and the last quarter will be traversed in its second half”.

As considerações acima acerca da velocidade do ponto B não correspondem exatamente ao teorema da velocidade média, embora se considerarmos a distância total percorrida por B em seu movimento uniformemente acelerado, veremos que a área equivale ao quadrado que representaria o movimento de B caso este tivesse se deslocado com a velocidade C durante todo o percurso de uma hora.

No que concerne ao teorema da velocidade média, Heytesbury parece ter sido o primeiro a enunciá-lo; contudo, não apresentou nenhuma demonstração geométrica de sua veracidade, considerando-o como uma verdade que prescindia de prova, conforme esclarece Clagett:

Embora estejamos em dúvida quanto à origem exata do teorema da velocidade média, o enunciado mais antigo do teorema que nós podemos fixar em determinada data ocorre na *Regule solvendi sophismata* de William Heytesbury, datada de 1335 [...]. Nesse enunciado do teorema [...], vemos-lhe declarado como uma verdade óbvia sem prova²⁷⁸ (CLAGETT, 1961, p. 262).

De fato, os “calculadores” de Oxford não desenvolveram artifícios gráficos para representar as suas ideias incipientes no campo da cinemática, tarefa que, de certa forma, coube aos nominalistas de Paris, nomeadamente a Nicole Oresme. Ademais, os estudiosos de Merton preocuparam-se em desenvolver um aparato formal que possibilitasse o estudo do movimento, enquanto os nominalistas parisienses estavam interessados na aplicação prática desses conhecimentos:

Os estudos cinemáticos iniciados em Oxford prosseguiram em Paris. Aí, sobretudo com Nicole Oresme, a abordagem matemática ganhou em amadurecimento com a introdução de uma representação gráfica, a partir da qual os resultados de Merton foram não somente redemonstrados, mas em alguns casos também generalizados. Notamos que, se em Oxford a ênfase na abordagem era essencialmente conceitual e teórica, através da elaboração de um formalismo e de seus desdobramentos, em Paris vemos já uma maior aplicação dessa estrutura teórica em situações concretas, como o problema da queda livre dos corpos (PORTO & PORTO, 2021, p. 14).

A contribuição de Oresme para os estudos acerca do movimento será detalhada no próximo capítulo, através da análise de suas obras científico-filosóficas.

²⁷⁸ No original: “While we are in doubt as to the exact origin of the mean speed theorem, the earliest statement of the theorem that we can pin down to a specific date occurs in the *Regule solvendi sophismata* of William Heytesbury, dated 1335 [...]. In that statement of the theorem [...], we see it stated as an obvious truth without proof”.

3.4 Jean Buridan

Segundo Edward Grant, uma lista dos mais notáveis pensadores escolásticos deve necessariamente incluir os nomes de Jean Buridan (nascido por volta de 1300 e falecido antes de 1361) e Nicole Oresme. Tais nomes passaram a ser objeto de estudo desde que Pierre Duhem apontou as contribuições de ambos para o desenvolvimento da ciência medieval²⁷⁹. Buridan foi um filósofo natural²⁸⁰ que se especializou em comentar as obras de Aristóteles, legando à filosofia comentários acerca de quase todos os escritos do Estagirita²⁸¹. Contudo, assim como alguns de seus predecessores, Buridan não avalizou todos os pressupostos aristotélicos acerca da ciência natural, elaborando comentários críticos a respeito de temas como, por exemplo, a continuidade do movimento dos projéteis. Para Buridan, tal fenômeno não era causado pela ação do ar, como pensava Aristóteles, mas sim por uma força impressa ao projétil, que recebeu o nome de *impetus*. Evidentemente, tal proposta não era nova. Tratava-se da retomada de uma ideia que havia sido proposta há séculos²⁸², a saber, a de que na ocasião do lançamento o motor transmitia algo ao corpo movido, propiciando a continuidade do deslocamento mesmo após a cessação do contato do motor com o movido. Contudo, não existem evidências de que Buridan tenha tido contato com os escritos de seus predecessores. Sobre isso, pontua Évora:

²⁷⁹ Nas palavras de Grant: “Qualquer lista dos ‘intelectos mais notáveis’ entre os autores escolásticos da Idade Média indubitavelmente incluiria dois franceses do século XIV, Jean Buridan (1300-antes de 1361) e Nicole Oresme (c. 1325-1382). Desde que Pierre Duhem primeiro chamou a atenção para suas variadas e importantes contribuições para a ciência medieval, eles têm sido foco de considerável atenção” (GRANT, 1993, p. 84). No original: “Any list of ‘most notable intellects’ among scholastic authors in the Middle Ages would undoubtedly include two fourteenth-century Frenchmen, Jean Buridan (1300-before 1361) and Nicole Oresme (ca. 1325-1382). Ever since Pierre Duhem first drew attention to their varied and weighty contributions to medieval science, they have been the focus of considerable attention”.

²⁸⁰ Conforme Grant, “Oresme era tanto um filósofo natural quanto teólogo, enquanto a especialização profissional de Buridan estava limitada à filosofia natural, que ele praticou por muitos anos como mestre em artes na Faculdade de Artes da Universidade de Paris” (*ibid.*, p. 84). No original: “Oresme was both a natural philosopher and theologian, while Buridan's professional expertise was confined to natural philosophy which he practiced for many years as a Master of Arts in the Faculty of Arts at the University of Paris”.

²⁸¹ Diz Grant: “Como um mestre de artes, Buridan comentou quase exclusivamente sobre os trabalhos de Aristóteles, deixando [...] um comentário ou questões sobre quase todos os tratados do último, e alguns que foram falsamente atribuídos a ele” (*ibid.*, p. 84). No original: “As a Master of Arts, Buridan commented almost exclusively on the works of Aristotle, leaving [...] a commentary or *questiones* on almost all of the latter's treatises and some that were falsely attributed to him”.

²⁸² A ideia da transmissão de algo ao projétil foi desenvolvida anteriormente por Hiparco e por Filopono. Sobre o assunto, consultar a exposição acerca da *força impressa* (p. 72 deste texto) e sobre a *força incorpórea* (p. 95 deste texto), propostas por Hiparco e Filopono, respectivamente.

[...] 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 – embora, em 1217, Michel Scot tenha apresentado no seu *Liber Astronomiae* uma tradução abreviada da teoria de Avicenna²⁸³, que contém sua teoria da “força motriz” (ÉVORA, 1993, p. 91-92).

Contudo, Évora acrescenta que, segundo o pesquisador Allan Franklin, Buridan pode ter sido influenciado por um filósofo contemporâneo, o italiano Francisco de Marchia, mas destaca que Buridan não o mencionou em seus trabalhos sobre o *impetus*²⁸⁴. De qualquer forma, “Buridan foi o principal expoente da ‘nova’ dinâmica do *impetus* na Universidade de Paris”²⁸⁵ (CLAGETT, 1961, p. 521), tendo desenvolvido tal ideia em suas *Questões sobre os Oito Livros da Física de Aristóteles*, mais precisamente no Livro VIII, Questão 12, que Buridan inicia questionando se, após ser lançado, o projétil se move em decorrência da ação do ar ou devido a outra causa. De imediato, Buridan afirma que argumentará contra a hipótese de que o ar seja o responsável por tal deslocamento, até porque restaria a questão acerca daquilo que estaria movendo o ar após ele ter sido lançado junto ao corpo. Diz Buridan:

Procura-se saber se um projétil, depois de deixar a mão do lançador, é movido pelo ar ou pelo que é movido. Argumenta-se que ele não é movido pelo ar, porque o ar parece, pelo contrário, resistir, já que é necessário que ele se divida. Além disso, se você diz que o lançador, no início, moveu o projétil e o ar ambiente junto com ele, e então esse ar, tendo sido movido, move o projétil ainda mais para tal e tal distância, a dúvida retornará quanto a aquilo que move o ar após o lançador deixar de se mover. Pois há tanta dificuldade sobre isso (o ar) quanto há sobre a pedra que é lançada²⁸⁶ (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 532).

²⁸³ Segundo Évora (1993, p. 90), Avicena desenvolveu a teoria de Filopono.

²⁸⁴ Diz Évora: “A ‘teoria da força motriz incorpórea’, que possibilita o movimento no vácuo, é revivida, no início de 1320, por Francisco de Marchia, um filósofo natural escolástico. Este trabalho pode, segundo Allan Franklin, ter influenciado Buridan no desenvolvimento da sua teoria do *impetus*. Não encontramos, no entanto, nenhuma referência de Buridan às teses de Marchia” (*ibid.*, p. 92). Por sua vez, Marshall Clagett parece sugerir alguma influência de Marchia sobre Buridan, pois afirma que “até que ponto ele [Buridan] foi influenciado por Marchia não é fácil dizer” (CLAGETT, 1961, p. 521). No original: “how far he was influenced by Marchia is not easy to say”.

²⁸⁵ No original: “Buridan was the principal exponent of the ‘new’ impetus dynamics at the University of Paris”.

²⁸⁶ Na tradução em inglês: “It is sought whether a projectile after leaving the hand of the projector is moved by the air, or by what it is moved. It is argued that it is not moved by the air, because the air seems rather to resist, since it is necessary that it be divided. Furthermore, if you say that the projector in the

Após apresentar a dificuldade acerca do que moveria o ar após a perda de contato com o lançador original, Buridan expõe a visão aristotélica, segundo a qual o projétil continuaria sua trajetória antinatural devido à *antiperistasis*²⁸⁷ (na qual o ar trocaria de lugar com o projétil, e vice-versa) ou pelo fato de que o ar mover-se-ia mais rápido do que o movimento do corpo em direção ao seu lugar natural (no caso do movimento da pedra, tratar-se-ia do movimento descendente). Prossegue Buridan:

Aristóteles assume a posição oposta no oitavo [livro] desta obra (a *Física*) assim: “Projéteis são movidos mais longe depois que os lançadores não estão mais em contato com eles, seja por antiperistasis, como alguns dizem, ou pelo fato de o ar tendo sido empurrado, empurra com um movimento mais rápido do que o movimento de impulsão pelo qual ele (o corpo) é levado para seu próprio lugar [natural]”. Ele determina a mesma coisa no sétimo e oitavo [livros] desta obra (a *Física*) e no terceiro [livro] do *De caelo*²⁸⁸ (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 532).

Para Buridan, Aristóteles não logrou êxito ao lidar com o problema de explicar a trajetória antinatural do projétil, tanto por ter proposto duas explicações diferentes quanto pelo fato de que a proposta da *antiperistasis* é contrariada por uma série de experiências:

Julgo ser essa questão muito difícil porque Aristóteles, como me parece, não a resolveu bem. Pois ele aborda duas opiniões. A primeira delas, que ele chama de “antiperistasis”, sustenta que o projétil deixa rapidamente o lugar em que estava, e a natureza, não permitindo um vácuo, manda rapidamente ar por trás [do projétil] para preencher o vácuo. O ar move-se rapidamente dessa forma e colide com o projétil, impulsionando-o adiante. Isso se repete continuamente até uma certa distância... Mas, não obstante tal solução, parece-me que esse método de proceder foi sem valor, por causa de muitas experiências [...] ²⁸⁹ (*ibid.*, p. 532-533).

beginning moved the projectile and the ambient air along with it, and then that air, having been moved, moves the projectile further to such and such a distance, the doubt will return as to by what the air is moved after the projector ceases to move. For there is just as much difficulty regarding this (the air) as there is regarding the stone which is thrown”.

²⁸⁷ Clagett define a *antiperistasis* (ἀντιπερίστασις) como “substituição mútua” (CLAGETT, 1961, p. 505).

²⁸⁸ Na tradução em inglês: “Aristotle takes the opposite position in the eighth [book] of this work (the *Physics*) thus: “Projectiles are moved further after the projectors are no longer in contact with them, either by antiperistasis, as some say, or by the fact that the air having been pushed, pushes with a movement swifter than the movement of impulsión by which it (the body) is carried towards its own [natural] place.” He determines the same thing in the seventh and eighth [books] of this work (the *Physics*) and in the third [book] of the *De caelo*”.

²⁸⁹ Na tradução em inglês: “This question I judge to be very difficult because Aristotle, as it seems to me, has not solved it well. For he touches on two opinions. The first one, which he calls “antiperistasis”, holds that the projectile swiftly leaves the place in which it was, and nature, not permitting a vacuum, rapidly

Buridan enumera três experiências que, segundo sua análise, infirmam a hipótese da *antiperistasis*. A primeira dessas experiências mostra que existem corpos que podem ser movidos continuamente, mas sem sair do lugar, de modo que o ar não precisa preencher o espaço deixado por esses objetos, já que estão se movimentando no mesmo ponto. É o caso do pião e do moinho de ferreiro:

A primeira experiência diz respeito ao pião (*trocus*) e ao moinho de ferreiro (isto é, roda – *mola fabri*), que são movidos por um longo tempo e, no entanto, não saem de seus lugares. Assim, não é necessário que o ar os acompanhe para preencher o local de partida de um pião desse tipo e [de] um moinho de ferreiro. Então, não pode ser dito [que o pião e o moinho de ferreiro são movidos pelo ar] dessa maneira²⁹⁰ (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 533).

A segunda experiência consiste em uma comparação entre os movimentos de duas lanças, uma com a parte anterior e posterior igualmente afiadas, e outra sem essa parte posterior afiada. Segundo Buridan, tais lanças teriam a mesma velocidade; porém, no caso da lança com as duas pontas afiadas, o ar que a empurraria adiante trocando de lugar com ela seria dividido pelo objeto cortante; conseqüentemente, as duas lanças teriam de ter velocidades distintas, pois o ar não conseguiria movê-las da mesma forma:

A segunda experiência é essa: Uma lança tendo uma [parte] posterior cônica tão afiada quanto sua [parte] anterior será movida, após o lançamento, tão rapidamente quanto seria [movida] sem uma [parte] posterior cônica afiada. Mas, certamente, o ar que a segue não poderia empurrar uma extremidade afiada dessa maneira, pois o ar seria facilmente dividido pela afiação²⁹¹ (*ibid.*, p. 533).

Quanto à terceira experiência, Buridan propõe que um marinheiro no convés de um navio em movimento sente apenas o ar à frente, que resiste ao seu movimento, e não o ar empurrando-o adiante. Ademais, Buridan sugere que se o ar fosse poderoso o

sends air in behind to fill up the vacuum. The air moved swiftly in this way and impinging upon the projectile impels it along further. This is repeated continually up to a certain distance... But such a solution notwithstanding, it seems to me that this method of proceeding was without value because of many experiences [...]”.

²⁹⁰ Na tradução em inglês: “The first experience concerns the top (*trocus*) and the smith’s mill (i.e. wheel – *mola fabri*) which are moved for a long time and yet do not leave their places. Hence, it is not necessary for the air to follow along to fill up the place of departure of a top of this kind and a smith’s mill. So it cannot be said [that the top and the smith’s mill are moved by the air] in this manner”.

²⁹¹ Na tradução em inglês: “The second experience is this: A lance having a conical posterior as sharp as its anterior would be moved after projection just as swiftly as it would be without a sharp conical posterior. But surely the air following could not push a sharp end in this way, because the air would be easily divided by the sharpness”.

bastante para empurrar um navio contendo determinada carga, e um homem estivesse atrás dela, ele seria fortemente pressionado entre a carga e o ar que a empurraria. Buridan considera que tais cenários são falsos, conforme suas palavras:

A terceira experiência é essa: um barco arrastado rapidamente no rio, mesmo contra o fluxo do rio, depois que o arrasto cessa, não pode ser parado rapidamente, mas continua a se mover por um longo tempo. Contudo, um marinheiro no convés não sente nenhum ar por detrás empurrando-o. Ele sente apenas o ar de frente resistindo [a ele]. Novamente, suponhamos que o dito barco estivesse carregado com grãos ou madeira e um homem estivesse situado na parte de trás da carga. Então, se o ar tivesse um ímpeto tal que pudesse empurrar o barco adiante tão fortemente, o homem seria pressionado muito violentamente entre essa carga e o ar que a segue. A experiência mostra que isso é falso. Ou, pelo menos, se o barco estivesse carregado com grãos ou palha, o ar que o segue e empurra dobraria (*plico*) as hastes que estivessem na parte de trás. Tudo isso é falso²⁹² (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 533).

Tendo demonstrado as contradições que, em sua visão, indicavam que a hipótese da *antiperistasis* estava incorreta, Buridan volta-se para a análise da segunda possibilidade aventada por Aristóteles, ou seja, a de que o lançador moveria não apenas o projétil, mas também o ar, que se deslocaria mais rapidamente do que o corpo, mantendo o movimento antinatural deste. Buridan explica a teoria da seguinte forma:

Outra opinião, que Aristóteles parece aprovar, é que o lançador move o ar adjacente ao projétil [simultaneamente] com o projétil, e esse ar movido rapidamente tem o poder de mover o projétil. Ele não quer dizer com isso que o mesmo ar é movido do lugar de lançamento para o lugar onde o projétil para, mas sim que o ar unido ao lançador é movido pelo lançador, e esse ar, tendo sido movido, move outra parte do ar próximo a ele, e essa [parte] move outra (isto é, a próxima) até uma certa distância. Portanto, o primeiro ar move o projétil para o segundo ar, e o segundo [ar move-o] para o terceiro ar, e assim por diante. Aristóteles diz, portanto, que não há um motor, mas muitos, sucessivamente. Daí, ele também conclui que o movimento não é contínuo, mas consiste de entidades sucessivas ou contíguas²⁹³ (*ibid.*, p. 533).

²⁹² Na tradução em inglês: “The third experience is this: a ship drawn swiftly in the river even against the flow of the river, after the drawing has ceased, cannot be stopped quickly, but continues to move for a long time. And yet a sailor on deck does not feel any air from behind pushing him. He feels only the air from the front resisting [him]. Again, suppose that the said ship were loaded with grain or wood and a man were situated to the rear of the cargo. Then if the air were of such an impetus that it could push the ship along so strongly, the man would be pressed very violently between that cargo and the air following it. Experience shows this to be false. Or, at least, if the ship were loaded with grain or straw, the air following and pushing would fold over (*plico*) the stalks which were in the rear. This is all false”.

²⁹³ Na tradução em inglês: “Another opinion, which Aristotle seems to approve, is that the projector moves the air adjacent to the projectile [simultaneously] with the projectile and that air moved swiftly has the power of moving the projectile. He does not mean by this that the same air is moved from the place of

Para Buridan, também era errônea a ideia de que o ar impulsionaria o projétil adiante, ao se mover mais rápido do que ele. Segundo o filósofo, tal movimento não explicaria a continuidade do deslocamento do pião, do moinho de ferro e do barco, e supô-lo implicaria dizer que, ao impulsionar o ar na direção de uma pessoa, esta deveria ser empurrada pelo ar de uma forma perceptível. Ademais, supor que o ar seja o responsável pelo movimento antinatural faria com que uma pena, uma vez lançada, movesse-se mais rápido do que uma pedra, já que o ar teria mais facilidade para mover um corpo mais leve, desde que tivessem as mesmas dimensões. Contudo, Buridan nega essa série de consequências e, assim, a conclusão aristotélica do ar como um motor:

Mas essa opinião e método certamente me parecem tão impossíveis quanto a opinião e método da visão precedente. Pois esse método não pode resolver o problema de como o pião ou o moinho de ferro é girado depois que a mão [que o coloca em movimento] é retirada. Pois, se você isolar o ar em todos os lados perto do moinho de ferro com um pano [...], o moinho não para por esse motivo, mas continua a se mover por um longo tempo. Portanto, ele não é movido pelo ar. Além disso, um barco arrastado rapidamente é movido muito tempo depois que os puxadores param de puxá-lo. O ar circundante não o move, pois se ele estivesse coberto por um pano e o pano, com o ar ambiente, fosse retirado, o barco não pararia seu movimento por esta razão. E mesmo que o barco estivesse carregado com grãos ou palha e fosse movido pelo ar ambiente, então esse ar deveria soprar as hastes externas para a frente. Mas o contrário é evidente, pois as hastes são impulsionadas para trás por causa da resistência do ar ambiente. Novamente, o ar, independentemente do quão rápido se move, é facilmente divisível. Portanto, não é evidente como sustentaria uma pedra de peso de mil libras projetada em uma funda ou em uma máquina. Além disso, você poderia, ao empurrar sua mão, mover o ar adjacente, se não houver nada em sua mão, tão rápido ou mais rápido do que se você estivesse segurando em sua mão uma pedra que você desejasse lançar. Se, por conseguinte, esse ar, por causa da velocidade do seu movimento, tiver um ímpeto grande e suficiente para mover a pedra rapidamente, parece que se eu impulsionasse o ar em sua direção de forma igualmente rápida, o ar deveria empurrá-lo impetuosamente e com força razoável. [No entanto], nós não perceberíamos isso. Além disso, segue-se que você atiraria uma pena mais longe do que uma pedra e algo menos pesado mais longe do que algo mais pesado, supondo magnitudes e formas iguais. A experiência mostra que isso é falso. A consequência é evidente, pois o ar, tendo sido movido, deveria sustentar, carregar ou mover uma pena mais

projection to the place where the projectile stops, but rather that the air joined to the projector is moved by the projector and that air having been moved moves another part of the air next to it, and that [part] moves another (i.e., the next) up to a certain distance. Hence the first air moves the projectile into the second air, and the second [air moves it] into the third air, and so on. Aristotle says, therefore, that there is not one mover but many in turn. Hence he also concludes that the movement is not continuous but consists of succeeding or contiguous entities”.

facilmente do que algo mais pesado... ²⁹⁴ (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 534).

Depois de tecer essa série de considerações acerca das explicações aristotélicas para o movimento dos projéteis, Buridan apresenta a sua própria teoria, que ficou conhecida como *teoria do impetus*, segundo a qual o motor transmitia algo ao movente no instante do deslocamento, enquanto o ar apenas resistia ao movimento. Nas palavras do autor:

Portanto, nós podemos e devemos dizer que na pedra ou outro projétil está impresso algo que é a força motriz (*virtus motiva*) desse projétil. E isso é evidentemente melhor do que recorrer à afirmação de que o ar continua a mover esse projétil. Pois o ar parece, pelo contrário, resistir. Por conseguinte, julgo que deve ser dito que o motor, ao mover um corpo em movimento, imprime (*imprimit*) nele certo ímpeto (*impetus*) ou certa força motriz (*vis motiva*) de um corpo em movimento, [ímpeto esse que atua] na direção para a qual o motor estava movendo o corpo em movimento, para cima ou para baixo, ou lateralmente, ou circularmente²⁹⁵ (*ibid.*, p. 534).

Dito isso, Buridan explica que quanto maior a velocidade do corpo, maior será o ímpeto impresso nele. Por sua vez, resistência do ar e a gravidade da pedra (ou seja, a tendência dela em retornar ao seu lugar natural, a Terra) diminuem esse ímpeto, até que

²⁹⁴ Na tradução em inglês: “But this opinion and method certainly seems to me equally as impossible as the opinion and method of the preceding view. For this method cannot solve the problem of how the top or smith’s mill is turned after the hand [which sets them into motion] has been removed. Because, if you cut off the air on all sides near the smith’s mill by a cloth [...], the mill does not on this account stop but continues to move for a long time. Therefore it is not moved by the air. Also a ship drawn swiftly is moved a long time after the haulers have stopped pulling it. The surrounding air does not move it, because if it were covered by a cloth and the cloth with the ambient air were withdrawn, the ship would not stop its motion on this account. And even if the ship were loaded with grain or straw and were moved by the ambient air, then that air ought to blow exterior stalks toward the front. But the contrary is evident, for the stalks are blown rather to the rear because of the resisting ambient air. Again, the air, regardless of how fast it moves, is easily divisible. Hence it is not evident as to how it would sustain a stone of weight of one thousand pounds projected in a sling or in a machine. Furthermore, you could, by pushing your hand, move the adjacent air, if there is nothing in your hand, just as fast or faster than if you were holding in your hand a stone which you wish to project. If, therefore, that air by reason of the velocity of its motion is of a great enough impetus to move the stone swiftly, it seems that if I were to impel air toward you equally as fast, the air ought to push you impetuously and with sensible strength. [Yet] we would not perceive this. Also, it follows that you would throw a feather farther than a stone and something less heavy farther than something heavier, assuming equal magnitudes and shapes. Experience shows this to be false. The consequence is manifest, for the air having been moved ought to sustain or carry or move a feather more easily than something heavier...”.

²⁹⁵ Na tradução em inglês: “Thus we can and ought to say that in the stone or other projectile there is impressed something which is the motive force (*virtus motiva*) of that projectile. And this is evidently better than falling back on the statement that the air continues to move that projectile. For the air appears rather to resist. Therefore, it seems to me that it ought to be said that the motor in moving a moving body impresses (*imprimit*) in it a certain impetus (*impetus*) or a certain motive force (*vis motiva*) of the moving body, [which impetus acts] in the direction toward which the mover was moving the moving body, either up or down, or laterally, or circularly”.

ele seja tão reduzido que a “gravidade” sobrepõe-se a ele e conduz a pedra para o seu lugar natural. Buridan defende sua teoria afirmando que as outras parecem ser falsas, enquanto a teoria do *impetus* “salva as aparências”:

E, na medida em que o motor move esse corpo em movimento mais rapidamente, na mesma medida imprimirá nele um ímpeto mais forte. É por esse ímpeto que a pedra é movida depois que o lançador para de mover. Mas esse ímpeto é continuamente diminuído (remittitur) pela resistência do ar e pela gravidade da pedra, que a inclina em uma direção contrária àquela na qual o ímpeto estava naturalmente predisposto a movê-la. Dessa forma, o movimento da pedra torna-se continuamente mais lento, e finalmente esse ímpeto é tão diminuído ou corrompido que a gravidade da pedra o vence e move a pedra para o seu lugar natural abaixo. Este método, parece-me, deveria ser apoiado porque os outros métodos não parecem ser verdadeiros e também porque todas as aparências (apparentia) estão em harmonia com este método²⁹⁶ (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 535, grifos do tradutor em inglês).

Na sequência, Buridan esclarece por que a teoria do *impetus* salva as aparências, ao propor que materiais mais densos e pesados recebem mais ímpeto do que corpos rarefeitos e leves, fazendo com que sejam lançados mais adiante do que corpos mais leves. Segundo Buridan, quanto mais matéria um corpo possui, maior o ímpeto que ele recebe na ocasião de seu lançamento; assim, dois corpos de mesmo tamanho e formato (como um pedaço de ferro e outro de madeira) recebem quantidades desiguais de ímpeto, fazendo com que o mais denso (o ferro) seja lançado mais longe do que o corpo menos denso (a madeira). Diz Buridan:

Pois, se alguém busca o porquê eu lanço uma pedra mais longe do que uma pena, e ferro ou chumbo colocados em minha mão mais adiante do que a mesma quantidade de madeira, respondo que a causa disso é que a recepção de todas as formas e disposições naturais está na matéria e por causa da matéria. Assim, quanto maior a quantidade de matéria, por essa quantidade, o corpo pode receber mais desse ímpeto e mais intensamente (intensius). Ora, em um corpo denso e pesado, mantidas as demais condições, há mais matéria-prima do que em um corpo rarefeito e leve. Portanto, um corpo denso e pesado recebe mais desse ímpeto e mais intensamente, assim como o ferro pode receber mais calor do que a madeira ou água na mesma quantidade.

²⁹⁶ Na tradução em inglês: “And by the amount the motor moves that moving body more swiftly, by the same amount it will impress in it a stronger impetus. It is by that impetus that the stone is moved after the projector ceases to move. But that impetus is continually decreased (*remittitur*) by the resisting air and by the gravity of the stone, which inclines it in a direction contrary to that in which the impetus was naturally predisposed to move it. Thus the movement of the stone continually becomes slower, and finally that impetus is so diminished or corrupted that the gravity of the stone wins out over it and moves the stone down to its natural place. This method, it appears to me, ought to be supported because the other methods do not appear to be true and also because all the appearances (*apparentia*) are in harmony with this method”.

Além disso, uma pena recebe um ímpeto tal tão fraco (*remisse*) que tal ímpeto é imediatamente destruído pela resistência do ar. *E assim também, se madeira leve e ferro pesado do mesmo volume e da mesma forma forem movidos igualmente rápido por um lançador, o ferro será movido mais adiante porque está impresso nele um ímpeto mais intenso, que não é tão rapidamente corrompido como seria corrompido um ímpeto menor. Essa também é a razão pela qual é mais difícil levar ao repouso um moinho de ferreiro grande que é movido rapidamente do que um moinho pequeno, evidentemente porque no grande, mantidas as demais condições, há mais ímpeto.* E por essa razão você poderia arremessar uma pedra de meia ou de uma libra de peso mais longe do que você poderia [lançar] uma milésima parte dela. Pois o ímpeto nessa milésima parte é tão pequeno que é superado imediatamente pela resistência do ar²⁹⁷ (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 535, grifos do tradutor em inglês).

Até o momento, Buridan empregou a sua teoria para explicar apenas o movimento antinatural do projétil, mas na sequência ele desenvolve um argumento propondo que o ímpeto também atua no movimento natural. Segundo o filósofo, o ímpeto atua junto à gravidade do corpo, impulsionando-o mais velozmente para o seu lugar natural:

Dessa teoria, também aparece a causa de porque o movimento natural de um corpo pesado para baixo é continuamente acelerado (*continue velocitatur*). Pois, desde o começo, apenas a gravidade o movia. Por conseguinte, ele se movia mais lentamente, mas, ao se mover, um ímpeto era impresso no corpo pesado. Esse ímpeto, então, [agindo] junto com a gravidade, move-o. Portanto, o movimento torna-se mais rápido; e, na medida que é mais rápido, então o ímpeto se torna mais intenso. Portanto, o movimento evidentemente se torna continuamente mais rápido²⁹⁸ (*ibid.*, p. 535-536).

²⁹⁷ Na tradução em inglês: “For if anyone seeks why I project a stone farther than a feather, and iron or lead fitted to my hand farther than just as much wood, I answer that the cause of this is that the reception of all forms and natural dispositions is in matter and by reason of matter. *Hence by the amount more there is of matter, by that amount can the body receive more of that impetus and more intensely* (intensius). *Now in a dense and heavy body, other things being equal, there is more of prime matter than in a rare and light one. Hence a dense and heavy body receives more of that impetus and more intensely, just as iron can receive more calidity than wood or water of the same quantity.* Moreover, a feather receives such an impetus so weakly (*remisse*) that such an impetus is immediately destroyed by the resisting air. *And so also if light wood and heavy iron of the same volume and of the same shape are moved equally fast by a projector, the iron will be moved farther because there is impressed in it a more intense impetus, which is not so quickly corrupted as the lesser impetus would be corrupted. This also is the reason why it is more difficult to bring to rest a large smith's mill which is moving swiftly than a small one, evidently because in the large one, other things being equal, there is more impetus.* And for this reason you could throw a stone of one-half or one pound weight farther than you could a thousandth part of it. For the impetus in that thousandth part is so small that it is overcome immediately by the resisting air”.

²⁹⁸ Na tradução em inglês: “From this theory also appears the cause of why the natural motion of a heavy body downward is continually accelerated (*continue velocitatur*). For from the beginning only the gravity was moving it. Therefore, it moved more slowly, but in moving it impressed in the heavy body an impetus. This impetus now [acting] together with its gravity moves it. Therefore, the motion becomes faster; and by the amount it is faster, so the impetus becomes more intense. Therefore, the movement evidently becomes continually faster”.

Em seguida, Buridan trata do movimento dos corpos celestes, ancorando-se na Bíblia para afirmar que não é preciso imaginar que determinadas “inteligências” sejam as responsáveis pelo deslocamento celeste, e ao dizer isso Buridan parece observar a máxima de Ockham de não postular entidades desnecessárias para explicar os fenômenos²⁹⁹. Segundo Buridan, no momento da Criação, Deus imprimiu nos corpos celestes ímpetos que conservavam seus movimentos sem que Ele precisasse movê-los mais. Dado que os corpos celestes não possuíam trajetórias diferentes daquelas que Deus determinou, e tendo em vista a ausência de resistência ao movimento celeste, Buridan parece indicar que tais movimentos seriam eternos. Contudo, Buridan não afirma categoricamente tais conclusões, mas as submete ao crivo dos mestres de teologia, dado que não era um teólogo³⁰⁰. Diz o autor:

Além disso, como a Bíblia não afirma que inteligências apropriadas movem os corpos celestes, pode-se dizer que não parece necessário postular inteligências desse tipo, pois seria respondido que Deus, quando criou o mundo, moveu cada um dos orbes celestes como lhe satisfizesse, e, ao movê-los, Ele imprimiu neles ímpetos que os moviam sem ter de movê-los mais, exceto pelo método de influência geral, através do qual ele participa como um coagente em todas as coisas que acontecem; “pois assim, no sétimo dia, Ele descansou de todo o trabalho que havia executado, confiando a outros as ações e as paixões, por sua vez”. E esses ímpetos que Ele imprimiu nos corpos celestes não foram diminuídos nem corrompidos depois, pois não havia inclinação dos corpos celestes para outros movimentos. Nem houve resistência que pudesse corromper ou reprimir esse ímpeto. Mas eu não digo isso assertivamente, mas [antes provisoriamente] para que eu possa buscar junto aos mestres de teologia o que eles possam me ensinar nesses assuntos, como essas coisas acontecem...³⁰¹ (BURIDAN, *in* CLAGETT, 1961, p. 536).

No que concerne à natureza do ímpeto, Buridan o distingue do movimento local do corpo, ou seja, o ímpeto não é o movimento em si, mas aquilo que move o projétil.

²⁹⁹ Ver página 121 do presente trabalho.

³⁰⁰ Ver nota de rodapé nº 280, na página 154.

³⁰¹ Na tradução em inglês: “Also, since the Bible does not state that appropriate intelligences move the celestial bodies, it could be said that it does not appear necessary to posit intelligences of this kind, because it would be answered that God, when He created the world, moved each of the celestial orbs as He pleased, and in moving them He impressed in them impetuses which moved them without his having to move them any more except by the method of general influence whereby he concurs as a co-agent in all things which take place; “for thus on the seventh day He rested from all work which He had executed by committing to others the actions and the passions in turn”. And these impetuses which He impressed in the celestial bodies were not decreased nor corrupted afterwards, because there was no inclination of the celestial bodies for other movements. Nor was there resistance which would be corruptive or repressive of that impetus. But this I do not say assertively, but [rather tentatively] so that I might seek from the theological masters what they might teach me in these matters as to how these things take place...”.

Assim, Buridan considera três coisas distintas: o motor que provoca o movimento, o próprio movimento e o ímpeto que produz o deslocamento após a perda do contato com o motor:

A primeira [conclusão] é que esse ímpeto não é o próprio movimento local pelo qual o projétil é movido, porque esse ímpeto move o projétil e o motor produz o movimento. Portanto, o ímpeto produz esse movimento, e a mesma coisa não pode produzir a si mesma³⁰² (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 536).

Ademais, Buridan destaca que o ímpeto não é uma coisa sucessiva, isto é, algo que é continuamente produzido e corrompido, dado que isso implicaria na existência de um motor constante, que produzisse o ímpeto a todo momento, o que não ocorre. Segundo Buridan, é o movimento que consiste em algo sucessivo, gerado e corrompido a todo instante:

A segunda conclusão é que esse ímpeto não é uma coisa puramente sucessiva (*res*), porque o movimento é exatamente tal coisa, e a definição de movimento [como uma coisa sucessiva] é apropriada a ele, como foi dito em outro lugar. E agora acaba de ser afirmado que esse ímpeto não é o movimento local. Além disso, como uma coisa puramente sucessiva é continuamente corrompida e produzida, ela continuamente demanda um produtor. Mas não pode ser atribuído um produtor desse ímpeto que continuaria sendo simultâneo a ele³⁰³ (*ibid.*, p. 537).

Segue-se, portanto, que o ímpeto possuiria natureza permanente, sendo uma qualidade impressa no projétil na ocasião do seu lançamento, e que, assim como o movimento, também está sujeita a impedimentos causados pela resistência do meio ou pela inclinação contrária do corpo (isto é, a tendência do corpo em retornar ao seu lugar natural). Diz Buridan:

A terceira conclusão é que esse ímpeto é algo de natureza permanente (*res nature permanentis*), distinto do movimento local em que o projétil é movido. Isso é evidente pelas duas conclusões supracitadas e

³⁰² Na tradução em inglês: “The first [conclusion] is that that impetus is not the very local motion in which the projectile is moved, because that impetus moves the projectile and the mover produces motion. Therefore, the impetus produces that motion, and the same thing cannot produce itself”.

³⁰³ Na tradução em inglês: “The second conclusion is that that impetus is not a purely successive thing (*res*), because motion is just such a thing and the definition of motion [as a successive thing] is fitting to it, as was stated elsewhere. And now it has just been affirmed that that impetus is not the local motion. Also, since a purely successive thing is continually corrupted and produced, it continually demands a producer. But there cannot be assigned a producer of that impetus which would continue to be simultaneous with it”.

pelas [afirmações] precedentes. E é provável (*verisimile*) que esse ímpeto seja uma qualidade naturalmente presente e predisposta para mover um corpo no qual ela seja impressa, tal como é dito que uma qualidade impressa no ferro por um ímã move o ferro para o ímã. E também é provável que, assim como essa qualidade (o ímpeto) é impressa no corpo em movimento junto com o movimento pelo motor; então com o movimento ela é remitida, corrompida ou impedida por resistência ou uma inclinação contrária³⁰⁴ (BURIDAN, in CLAGETT, 1961, p. 537).

De acordo com Marshall Clagett, a utilização do conceito de ímpeto para explicar o movimento celeste consiste em uma aproximação com a ideia inercial newtoniana³⁰⁵, embora Buridan não tenha formulado matematicamente a questão³⁰⁶. Tal ideia foi posteriormente desenvolvida por seus sucessores parisienses, notadamente Nicole Oresme³⁰⁷, cuja contribuição à ciência do movimento será elucidada no capítulo seguinte.

³⁰⁴ Na tradução em inglês: “The third conclusion is that that impetus is a thing of permanent nature (*res nature permanentis*), distinct from the local motion in which the projectile is moved. This is evident from the two aforesaid conclusions and from the preceding [statements]. And it is probable (*verisimile*) that that impetus is a quality naturally present and predisposed for moving a body in which it is impressed, just as it is said that a quality impressed in iron by a magnet moves the iron to the magnet. And it also is probable that just as that quality (the impetus) is impressed in the moving body along with the motion by the motor; so with the motion it is remitted, corrupted, or impeded by resistance or a contrary inclination”.

³⁰⁵ Diz Clagett: “O uso do ímpeto para explicar o movimento contínuo dos céus é o mais próximo que Buridan chega da ideia inercial da mecânica de Newton. Dificilmente se pode duvidar de que o ímpeto é análogo à inércia posterior, independentemente das diferenças ontológicas” (CLAGETT, 1961, p. 525). No original: “The use of impetus to explain the continuing movement of the heavens is the closest that Buridan comes to the inertial idea of Newton’s mechanics. It can scarcely be doubted that impetus is analogous to the later inertia, regardless of ontological differences”.

³⁰⁶ Clagett considera “certamente duvidoso que Buridan quisesse relacionar o ímpeto e a velocidade imediata transmitida a um corpo exponencialmente pela lei de Bradwardine, embora Buridan conhecesse e utilizasse essa lei” (*ibid.*, p. 523). No original: “certainly doubtful whether Buridan meant to relate impetus and the immediate velocity imparted to a body exponentially by Bradwardine’s law, although Buridan knew and used that law”.

³⁰⁷ Segundo Clagett, “sua [de Buridan] exposição da teoria da força impressa (chamada por ele de *ímpeto*) foi o ponto de partida para discussões semelhantes de seus principais sucessores em Paris na segunda metade do século, nomeadamente Nicole Oresme, Alberto da Saxônia e Marsílio de Inghen” (*ibid.*, p. 522). No original: “his exposition of the theory of the impressed force (called by him *impetus*) was the starting point of similar discussions of his principal successors at Paris in the second half of the century, namely Nicole Oresme, Albert of Saxony, and Marsilius of Inghen”.

CAPÍTULO 4. O PENSAMENTO E A OBRA CIENTÍFICO-FILOSÓFICA DE NICOLE ORESME

4.1 Breve biografia de Nicole Oresme

Informações acerca dos primeiros anos da vida de Nicole Oresme são escassas, havendo controvérsias acerca até mesmo da data³⁰⁸ e local exato de seu nascimento. Contudo, acredita-se que Oresme tenha nascido na Normandia³⁰⁹, França, possivelmente em uma família de poucos recursos, de modo que ele precisou do apoio da coroa francesa para estudar³¹⁰. O ingresso de Oresme no Colégio de Navarra parece ter ocorrido em 1348, dado que seu nome aparece em uma lista de estudantes normandos que pleiteavam isenção de exames³¹¹, tornando-se doutor e posteriormente Grão-Mestre do Colégio em 1356³¹².

Alguns estudiosos acreditam que as obras de Oresme em latim foram redigidas enquanto o filósofo estava no Colégio de Navarra, instituição que deixou por volta de

³⁰⁸ Diz Grant: “Sua [de Oresme] data de nascimento é conjecturalmente dada pela maioria dos estudiosos como algum momento entre 1320 e 1340, mas possivelmente 1320-1325 é uma suposição mais criteriosa” (GRANT, 1966, p. 3-4). No original: “His date of birth is conjecturally given by most scholars as some time between 1320 and 1340, but possibly 1320-1325 is a more judicious guess”.

³⁰⁹ Pontua Grant: “É certo que Oresme era originário da Normandia, talvez da vila de Allemagne, nos arredores da cidade de Caen” (*ibid.*, p. 4). No original: “It is certain that Oresme came originally from Normandy, perhaps from the village of Allemagne in the vicinity of the city of Caen”.

³¹⁰ É o que sugere Grant, que afirma: “Praticamente nada é conhecido sobre a família de Oresme. O fato de que Nicole frequentou o Colégio de Navarra, patrocinado e subsidiado pela realeza, onde os estudantes eram admitidos apenas mediante prova de que eram demasiado pobres para pagar suas despesas enquanto estudavam na Universidade de Paris faz parecer provável que ele tenha vindo de uma daquelas famílias camponesas robustas” (*ibid.*, p. 4). No original: “Practically nothing is known concerning Oresme’s family. The fact that Nicole attended the royally sponsored and subsidized College of Navarre, where students were admitted only upon proof that they were too poor to pay their expenses while studying at the University of Paris, makes it seem probable that he came from one of those sturdy peasant families”.

³¹¹ Ainda segundo Grant, que diz: “Também encontramos, em um documento de 29 de novembro de 1348, o nome de Oresme incluído em uma lista de estudantes da ‘Nação Normanda’ que buscavam a isenção de certos exames não especificados, e requisitos de leitura” (*ibid.*, p. 4). No original: “We also find, in a document of November 29, 1348, Oresme’s name included in a list of students of the ‘*Natio Normannorum*’ seeking to have certain unspecified examinations and reading requirements waived”.

³¹² Segundo o comentador, “Borchert, reconstruindo hipoteticamente a carreira teológica de Oresme com base no ingresso deste no Colégio de Navarra em 1348, [...] pressupõe que Oresme recebeu seu doutorado em 1356, ano em que se tornou grão-mestre de sua faculdade, já que o doutorado era pré-requisito para o título de grão-mestre” (*ibid.*, p. 5). No original: “Borchert, hypothetically reconstructing Oresme’s theological career on the basis of Oresme’s having entered the College of Navarre in 1348, [...] assumes that Oresme received his doctorate in 1356, the year he became grand master of his college, since the doctorate was prerequisite to the grand mastership”.

1362³¹³. Durante esse período de pouco mais de dez anos, Oresme alcançou um prestígio acadêmico que o aproximou da corte francesa³¹⁴, nomeadamente do delfim Carlos, futuro Carlos V da França³¹⁵, de quem pode ter sido preceptor ou instrutor³¹⁶. A proximidade com os membros da corte parece ter contribuído para que Oresme galgasse posições na hierarquia da Igreja, pois “enquanto Grão-Mestre de Navarra, foi nomeado arqui-diácono de Bayeux, provavelmente com o apoio de Carlos”³¹⁷ (GRANT, 1966, p. 6-7); contudo, o filósofo não assumiu tal posto, já que teria de renunciar ao cargo de Grão-Mestre³¹⁸. Todavia, tornou-se cônego da Catedral de Rouen em 1362, cônego da Sainte-Chapelle no ano seguinte e, em 1364, ascendeu a deão da Catedral de Rouen³¹⁹.

³¹³ Citando alguns comentadores de Oresme, Grant diz que “Meunier acreditava que Oresme compôs todas as suas obras astrológicas e físicas em latim enquanto estava no Colégio de Navarra, isto é, entre 1348 até aproximadamente 1362. Menut e Denomy, por outro lado, sustentam ‘que os escritos científicos de Oresme foram realizados em grande parte entre 1360 e 1370’. A partir de um argumento recente de Clagett, parece provável agora que a estimativa de Meunier esteja mais próxima da correta e que Oresme escreveu muitos de seus tratados latinos importantes antes de 1360” (GRANT, 1966, p. 5). No original: “Meunier believed that Oresme composed all his Latin astrological and physical works while at the College of Navarre, i.e., 1348-ca.1362. Menut and Denomy, on the other hand, hold ‘that the scientific writings of Oresme were accomplished in large part between 1360 and 1370’. From a recent argument by Clagett, it now appears likely that Meunier’s estimate is more nearly correct and that Oresme wrote many of his significant Latin treatises prior to 1360”.

³¹⁴ É o que sugere Grant, que aponta a “probabilidade de que foi uma reputação acadêmica já estabelecida que atraiu a atenção da família real para Oresme e o colocou em estreito contato com o futuro Carlos V o mais tardar em 1359, e provavelmente antes” (*ibid.*, p. 6). No original: “probability that it was an already-established scholarly reputation which attracted the attention of the royal family to Oresme and brought him into intimate contact with the future Charles V not later than 1359, and probably before”.

³¹⁵ Carlos V, nascido em 1338, foi rei da França entre 1364 e 1380. É lembrado pelo cognome “o Sábio”, tendo sido um mecenas das artes e dono de uma grande biblioteca. Sobre isso, consultar Loyn (1990, p. 70).

³¹⁶ A possibilidade de que “a primeira associação de Oresme com a família real foi como preceptor ou instrutor do delfim Carlos não é conhecida, mas alguns escritores discutiram a questão, interpretando os termos de forma ampla ou restrita, de acordo com seus pontos de vista” (GRANT, 1966, p. 6). No original: “Oresme’s first association with the royal family was as *précepteur* or *instructeur* to the dauphin Charles is not known, but a few writers have argued the point, interpreting the terms broadly or narrowly in accordance with their points of view”.

³¹⁷ No original: “while grand master of Navarre, was appointed archdeacon of Bayeux, probably with the support of Charles”.

³¹⁸ A obrigação imposta a Oresme de abdicar do seu cargo na Universidade de Paris deveu-se ao questionamento do eminente mestre em teologia Symon Frenon, cuja contestação foi apreciada pelo Parlamento de Paris, que proferiu uma decisão desfavorável a Oresme, obrigando-o a escolher permanecer como Grão-Mestre ou abrir mão dessa função para se tornar arqui-diácono. O filósofo recorreu, mas sofreu novo revés em decisão proferida em 4 de dezembro de 1361, levando-o a preferir manter a posição de Grão-Mestre. Ver Grant (*ibid.*, p.7).

³¹⁹ Essa série de nomeações se deu em pouco mais de um ano, mais especificamente em 23 de novembro de 1362 (cônego em Rouen), 10 de fevereiro de 1363 (cônego da Sainte-Chapelle) e 18 de março de 1364 (deão em Rouen), conforme Grant (*ibid.*, p.7).

Em decorrência do cargo de deão, possivelmente Oresme passou a residir em Rouen, indo ocasionalmente a Paris³²⁰. Sua permanência quase contínua nesta cidade deu-se após receber a incumbência, por Carlos V, de traduzir tratados de Aristóteles³²¹, tarefa que iniciou por volta de 1369, e da qual se ocupou durante parte da década seguinte³²². Com o apoio de Carlos V, Oresme tornou-se bispo de Lisieux em 1377³²³, estabelecendo-se na cidade por volta de 1380³²⁴, onde faleceu em 11 de julho de 1382³²⁵.

4.2 Oresme e a astrologia

A atividade intelectual de Oresme não se limitou a de um mero tradutor de obras aristotélicas, dado que o estudioso francês foi um pensador original de seu tempo. A influência de Oresme abarca distintas áreas do conhecimento, como a matemática, a física, a astronomia e a economia. No campo da matemática, por exemplo, Oresme aplicou-a

ao movimento planetário e outros e, assim, ampliou o trabalho de Bradwardine, pois usou não apenas números “racionais” para as potências das quantidades variáveis no problema do projétil, mas também trabalhou com potências “irracionais”. Uma vez que os números irracionais eram aqueles que não podiam ser expressos por

³²⁰ Diz Grant: “Parece mais provável que, exceto por viagens ocasionais a Paris, Oresme residiu em Rouen, cuidando de seus deveres oficiais, durante o período de 1364 a 1369/1370” (GRANT, 1966, p. 8-9). No original: “It seems more probable that, except for occasional trips to Paris, Oresme resided at Rouen tending to his official duties during the period 1364-1369/70”.

³²¹ Segundo o comentador, dado “o início de suas prolongadas atividades de tradução a pedido de Carlos V, Oresme de fato residiu quase continuamente em Paris, como é demonstrado por documentos oficiais datados de 1372. Sua residência em Paris parece bastante contínua e provavelmente se estendeu até 1380” (*ibid.*, p. 9). No original: “the commencement of his prolonged translating activities at the request of Charles V, Oresme did indeed reside almost continuously at Paris, as is shown by official documents dated 1372. His residency at Paris seems fairly continuous and probably extended to 1380”.

³²² Conforme Grant, “Oresme provavelmente começou a trabalhar em sua tradução da *Ética* de Aristóteles em 1369, concluindo-a em 1370. A *Política*, com possíveis revisões posteriores, e a *Economia* parecem ter sido concluídas entre 1372 e 1374, e o *De caelo et mundo* em 1377” (*ibid.*, p. 9). No original: “Oresme probably began work on his translation of Aristotle’s *Ethics* in 1369, completing it in 1370. The *Politics*, with possible later revisions, and the *Economics* seem to have been completed between 1372 and 1374, and the *De caelo et mundo* in 1377”.

³²³ A nomeação de Oresme como bispo de Lisieux deu-se em 3 de agosto de 1377 (*ibid.*, p. 9-10).

³²⁴ Segundo Grant, “ele [Oresme] não parece ter fixado residência em Lisieux até setembro de 1380” (*ibid.*, p. 10). No original: “he seems not to have taken up residence at Lisieux until September 1380”.

³²⁵ *Ibid.*, p. 10.

relações simples [isto é, enquanto um número racional como meio (0,5) pode ser expresso por $1/2$, um número irracional como a raiz quadrada de 2 (1,4142136...) não pode ser escrito como uma relação simples], D'Oresme acreditava haver certa indeterminação numérica para expressar o comportamento do universo. Isso lhe deu munição contra a astrologia, que, declarava ele, se baseava em uma determinação rígida (RONAN, 1983, p. 157-158).

De fato, Oresme destacou-se como um crítico obstinado da astrologia, por razões religiosas e científicas³²⁶, sendo que, no caso dessas últimas, o filósofo buscou defender o seu ponto de vista associando a este as conclusões matemáticas a que chegara no seu tratado *De proportionibus proportionum*, no qual defendeu que, caso considerássemos um grande conjunto de razões (Exemplos: $1/2$, $4/2$, $9/7$, $47/24$, $55/13$, $93/41$, etc.), seria bastante provável que elas seriam *incomensuráveis* entre si, ou seja, não poderiam ser comparadas. De fato, é possível imaginar um número muito maior de razões incomensuráveis (como $9/7$, $47/24$, $55/13$, $93/41$, etc.) do que comensuráveis ($1/2$, $4/2$, etc.). Assim, de acordo com Oresme, se selecionássemos duas razões quaisquer (por exemplo, $47/24$ e $93/41$) de um conjunto grande de razões, é muito provável que as razões escolhidas sejam mutuamente incomensuráveis. É o que o filósofo sugere no Capítulo III, Proposição X do *De proportionibus proportionum*: “É provável que duas razões desconhecidas propostas sejam incomensuráveis porque, se muitas razões desconhecidas forem propostas, é mais provável que qualquer [uma] seja incomensurável a qualquer [outra]”³²⁷ (ORESME, 1966, p. 247).

À primeira vista, a proposição acima não parece guardar qualquer relação com a astrologia. Contudo, no “Capítulo IV [do tratado], Oresme aplica ao movimento local e celeste algumas das proposições anteriores sobre as razões das razões”³²⁸ (GRANT, 1966, p. 42). Assim como postulou que a quantidade de razões incomensuráveis seria muito maior do que as razões comensuráveis, Oresme conclui que, ao se considerar dois movimentos celestes, é muito provável que ambos sejam incomensuráveis e, portanto, insuscetíveis a comparações. Diz o filósofo:

³²⁶ Nas palavras de Kirschner (2021), “Oresme foi um oponente determinado da astrologia, que ele atacava por razões religiosas e científicas”. No original: “Oresme was a determined opponent of astrology, which he attacked on religious and scientific grounds”.

³²⁷ Na tradução em inglês: “It is probable that two proposed unknown ratios are incommensurable because if many unknown ratios are proposed it is most probable that any [one] would be incommensurable to any [other]”.

³²⁸ No original: “Chapter IV Oresme applies to local and celestial motion some of the earlier propositions concerning ratios of ratios”.

De todas as coisas que foram ditas, esta proposição também se segue: Quando dois movimentos de corpos celestes são propostos, é provável que sejam incomensuráveis, e mais provável que qualquer movimento celeste seja incomensurável ao movimento de qualquer outra esfera [celeste]³²⁹ (ORESME, 1966, p. 305).

Segundo Grant, a conclusão exposta acima³³⁰, bem como a conclusão mais geral³³¹ enunciada pelo filósofo um pouco antes, provenientes da Proposição X já mencionada, serviram como argumentos para Oresme se opor à astrologia. Isso porque a ideia de que os movimentos celestes são incomensuráveis e, portanto, inexatos, era incompatível com a afirmação de alguns astrólogos de que as previsões astrológicas seriam derivadas de dados celestes precisos. Nas palavras do comentador:

É preciso notar, contudo, que a conclusão especial (IV. 573-76) em particular, e, às vezes, a conclusão geral (IV. 556-61), serviram como armas importantes nos ataques de Oresme contra a previsão astrológica. Derivadas, em última instância, conforme vimos, dos argumentos matemáticos expostos na Proposição X do Capítulo III, quando foi mostrado que existem mais razões irracionais do que racionais entre razões, uma ou a outra [conclusão], ou ambas, são citadas por Oresme em uma série de trabalhos, alguns dos quais eram ataques contra aqueles astrólogos que afirmavam que era possível fazer previsões astrológicas precisas a partir de dados celestes exatos³³² [...]. Se a astrologia depende de previsões precisas de conjunções, oposições, quadraturas, entradas de planetas nos

³²⁹ Na tradução em inglês: “From all the things which have been said, this proposition also follows: When two motions of celestial bodies have been proposed, it is probable that they would be incommensurable, and most probable that any celestial motion would be incommensurable to the motion of any other [celestial] sphere”.

³³⁰ No texto original em latim, corresponde às linhas 573 a 576 do Capítulo IV.

³³¹ Trata-se da ideia de que não apenas dois movimentos celestes seriam incomensuráveis, mas que quaisquer grandezas (como o movimento e o tempo) o seriam. Nas palavras de Oresme: “[Do que foi dito] segue-se esta proposição: Quando se propõem quaisquer duas coisas, adquiríveis [ou atravessáveis] por um movimento contínuo e cuja razão é desconhecida, é provável que elas sejam incomensuráveis. E se mais [coisas] são propostas, é mais provável que qualquer [uma delas] seja incomensurável a qualquer [outra]. A mesma coisa pode ser dita de dois tempos e de quaisquer quantidades contínuas, seja o que for” (ORESME, 1966, p. 303). Na tradução em inglês: “[From what has been said] this proposition follows: When there have been proposed any two things whatever acquirable [or traversable] by a continuous motion and whose ratio is unknown, it is probable that they are incommensurable. And if more are proposed, it is more probable that any [one of them] is incommensurable to any [other]. The same thing can be said of two times and of any continuous quantities whatever”.

³³² Oresme falou a respeito em um pequeno tratado intitulado *Ad pauca respicientes*, que poderia ser traduzido como “Sobre alguns assuntos”. Logo no início desse texto, Oresme critica os astrólogos: “Sobre alguns assuntos, como diz Aristóteles, existem pessoas que se manifestam com demasiada facilidade. Por exemplo, alguns astrólogos que pensam conhecer com exatidão pontual os movimentos, aspectos, conjunções e oposições dos planetas, e as disposições dos corpos celestes, acreditam ser homens sábios, mas foram feitos de tolos” (*ibid.*, p. 383). Na tradução em inglês: “Concerning some matters, as Aristotle says, there are people who speak out much too readily. For instance, some astrologers who think they know with punctual exactness the motions, aspects, conjunctions, and oppositions of the planets and the dispositions of the celestial bodies believe themselves to be wise men but have been made fools”.

diferentes signos do zodíaco, e assim por diante, então Oresme acredita ter os meios de destruir a própria base de tais previsões³³³ (GRANT, 1966, p. 61-62).

Na sequência, Grant esclarece que, dentre os argumentos de Oresme, um deles é físico e o outro matemático. O argumento físico diz respeito à percepção de que, segundo Oresme, não seria possível para a mente humana

“conhecer as razões de quaisquer grandezas relativas aos movimentos celestes, já que, de fato, nossos sentidos são tão deficientes que nem sequer somos capazes de conhecer as razões de grandezas imediatamente à nossa frente³³⁴ [...]. Embora nós estejamos, pela própria natureza das coisas, condenados à ignorância sobre as razões reais das velocidades, podemos considerar se as razões reais, mas desconhecidas, do movimento são comensuráveis ou não”³³⁵ (*ibid.*, p. 62-63).

Conforme já dito³³⁶, Oresme dá uma resposta negativa à indagação sobre se as razões desconhecidas são ou não comensuráveis. Se ocorre tal incomensurabilidade no âmbito celeste, com movimentos, velocidades, tempos e distâncias incomensuráveis, isso invalidaria o trabalho do astrólogo, que não poderia contar com razões racionais para realizar suas previsões. Prossegue o comentador:

O Capítulo III, Proposição X, fornece a resposta matemática para Oresme. Mesmo se fosse possível conhecer as razões do movimento celeste, é grande a probabilidade de que tais razões seriam irracionais.

³³³ No original: “It must be noted, however, that the special conclusion (IV. 573-76) in particular, and sometimes the general conclusion (IV. 556-61), served as important weapons in Oresme’s attacks against astrological prediction. Derived ultimately, as we have seen, from the mathematical arguments advanced in Proposition X of Chapter III, where it was shown that there are more irrational than rational ratios of ratios, one or the other or both are cited by Oresme in a number of works, some of which were attacks against those astrologers who claimed it was possible to make precise astrological predictions from exact celestial data [...]. If astrology depends on precise predictions of conjunctions, oppositions, quadratures, entries of planets into the different signs of the zodiac, and so forth, then Oresme believes he has the means of destroying the very basis for such predictions”.

³³⁴ A ideia do desconhecimento humano acerca de possíveis razões entre grandezas celestes e terrestres consiste na Suposição III da Primeira Parte do *Ad pauca respicientes*: “Não há razão conhecida entre quaisquer grandezas relativas aos movimentos dos corpos celestes. [...] E é bem sabido que nem sequer podemos saber sobre grandezas próximas devido aos [nossos] sentidos imperfeitos” (ORESME, 1966, p. 387). Na tradução em inglês: “There is no known ratio between any quantities pertaining to the motions of celestial bodies. [...] And it is well understood that we cannot even know about quantities close by because of defective senses”.

³³⁵ No original: “know ratios of any quantities pertaining to celestial motions, since, in fact, our senses are so deficient that we are not even capable of knowing ratios of quantities lying immediately by us [...]. Though we are, by the very nature of things, doomed to ignorance concerning actual ratios of velocities, we might consider whether the actual, but unknown, ratios of motion are commensurable or not”.

³³⁶ *De proportionibus proportionum*, Capítulo III, Proposição X (ORESME, 1966, p. 247).

Quaisquer duas velocidades celestes provavelmente seriam incomensuráveis, como seriam dois tempos ou distâncias [...]. Segue-se, claro, que as razões que originam essas velocidades, tempos ou distâncias celestes também são incomensuráveis. Com efeito, à medida que mais e mais velocidades, tempos ou distâncias são medidos, existem, correspondentemente, mais razões irracionais do que racionais entre razões. Os astrólogos, forçados a basear-se em razões irracionais para as grandezas físicas mais básicas, não poderiam prever posições celestes precisas³³⁷ [...]. Os melhores dados astronômicos não poderiam remediar essa inerente indeterminação matemática³³⁸ (GRANT, 1966, p. 63).

Ademais, é importante salientar que a oposição de Oresme à astrologia não se deu somente por motivos matemáticos e astronômicos. Pode-se dizer que o filósofo também tinha preocupações políticas a esse respeito, pois considerava que apesar de a astrologia ser maléfica a todos, o dano era ainda maior quando se tratava de pessoas com *status* elevado, ou seja, os governantes, já que eles eram responsáveis por suas respectivas comunidades. Oresme expressa tal preocupação logo no início de outro de seus tratados, o *Livre de Divinations*, escrito entre 1361 e 1365³³⁹:

É meu objetivo, com a ajuda de Deus, mostrar nesse pequeno livro, pela experiência, pela razão humana e pela autoridade, que é tolo, ímpio e perigoso mesmo nesta vida dedicar-se a conhecer ou pesquisar questões ocultas ou os perigos e sorte do futuro, seja pela astrologia, geomancia, necromancia, ou qualquer outra de tais artes, se elas puderem ser corretamente chamadas artes; e, além disso, que tais coisas são mais perigosas para aqueles de alta posição, tais como

³³⁷ A impossibilidade de previsão das posições celestes é enunciada por Oresme por meio da Proposição XVI da Segunda Parte do *Ad pauca respicientes*: “Tendo assumido a incomensurabilidade como anteriormente, é impossível prever cientificamente o lugar ou momento exatos de qualquer oposição, conjunção, aspecto ou disposição passada ou futura” (ORESME, 1966, p. 421). Na tradução em inglês: “Having assumed incommensurability as before, it is impossible to predict scientifically the exact place or time of any past or future opposition, conjunction, aspect, or disposition”. Na sequência, Oresme explica o sentido da Proposição, dizendo: “Isso é evidente porque [oposições, conjunções, aspectos ou disposições] não são encontrados exceto por comparação ou comensuração de um movimento com outro, conforme mostrado na primeira e segunda proposições da primeira parte” (*ibid.*, p. 421). Na tradução em inglês: “This is evident because [oppositions, conjunctions, aspects, or dispositions] are not found except by comparison or commensuration of one motion to another, as shown in the first and second propositions of the first part”.

³³⁸ No original: “Chapter III, Proposition X, supplies the mathematical answer for Oresme. Even were it possible to know ratios of celestial motion, the probability is great that any such ratios would be irrational. Any two celestial velocities would probably be incommensurable, as would two times or distances [...]. It follows, of course, that the ratios which give rise to these celestial velocities, times, or distances are also incommensurable. Indeed, as more and more velocities, times, or distances are taken there are correspondingly more irrational than rational ratios of ratios. Astrologers, forced to rely on irrational ratios for the most basic physical quantities, could not possibly predict precise celestial positions [...]. The very best astronomical data could not remedy this inherent mathematical indeterminacy”.

³³⁹ Ver COOPLAND, 1952, p. 1.

príncipes e senhores aos quais pertence o governo da comunidade³⁴⁰ (ORESME, 1952, p. 51).

Para Oresme, o risco da prática da astrologia não estava distante: o seu próprio benfeitor, o rei francês Carlos V, era um grande entusiasta do assunto, de modo que talvez as investidas do filósofo contra a astrologia tenham sido motivadas pelo receio de que esta poderia influenciar as decisões reais. Conforme sugere o trecho acima, Oresme certamente acreditava que a astrologia poderia prejudicar os negócios de Estado. Grant discorre sobre isso em sua Introdução ao *De proportionibus proportionum*:

Por que Oresme foi um oponente tão determinado da astrologia? Ele, sem dúvida, opunha-se a ela por razões religiosas gerais, mas sua aversão deve ter sido intensificada imensuravelmente por causa do forte fascínio que ela exercia sobre o rei da França, Carlos V, amigo e benfeitor de Oresme. Este último tinha estado em estreita associação com Carlos muito antes de sua ascensão formal ao trono francês em 1364, e teve ampla oportunidade de notar a considerável influência dos astrólogos da corte. Seus ataques vigorosos podem ter sido motivados por um medo de que importantes decisões de Estado pudessem ser influenciadas por previsões astrológicas vazias. O argumento matemático do Capítulo III, Proposição X, aplicado aos movimentos celestes, pode ter sido, na mente de Oresme, o antídoto adequado para o veneno insidioso da ilusão astrológica. Oresme tinha formulado um argumento matemático intelectual na esperança de atrair um rei bem conhecido por seus interesses intelectuais, para que, com um poderoso impacto, o rei pudesse ser trazido à razão e levado a perceber que havia sido enganado para que acreditasse na possibilidade de previsões astrológicas precisas, que era então mostrado ser totalmente impossível. Infelizmente, apesar de todo o seu esforço prodigioso e louvável, Oresme, a julgar pela inabalável lealdade de Carlos aos seus astrólogos, falhou miseravelmente em sua tentativa de reforma³⁴¹ (GRANT, 1966, p. 64).

³⁴⁰ Na tradução em inglês: “It is my aim, with God’s help, to show in this little book, from experience, from human reason, and from authority, that it is foolish, wicked, and dangerous even in this life, to set one’s mind to know or search out hidden matters or the hazards and fortunes of the future, whether by astrology, geomancy, nigromancy, or any other such arts, if they can correctly be called arts; and, further, that such things are most dangerous to those of high estate, such as princes and lords to whom appertains the government of the commonwealth”.

³⁴¹ No original: “Why was Oresme so determined an opponent of astrology? He no doubt opposed it on general religious grounds, but his dislike for it must have been intensified immeasurably because of the strong fascination it exerted on the king of France, Charles V, friend and benefactor of Oresme. The latter had been in close association with Charles long before his formal ascension to the French throne in 1364, and had ample opportunity to note the considerable influence of court astrologers. His vigorous attacks may have been prompted by a fear that important decisions of state might be influenced by vain astrological predictions. The mathematical argument of Chapter III, Proposition X, as applied to celestial motions, may have been, in Oresme’s mind, the proper antidote to the insidious poison of astrological delusion. Oresme had formulated an intellectual mathematical argument in the hope of appealing to a king well known for his intellectual interests, so that with one mighty blow the king might be brought to reason and made to realize that he had been duped into believing in the possibility of accurate astrological prediction which was now shown to be utterly impossible. Unfortunately, for all his prodigious and praiseworthy effort, Oresme, judging from Charles’s unswerving allegiance to his astrologers, failed dismally in his reform attempt”.

Todavia, a descrença de Oresme na astrologia dizia respeito fundamentalmente à ideia de que ela possibilitaria conhecer o futuro³⁴², não se estendendo a outras aplicações de tal prática como, por exemplo, na medicina³⁴³, vinculada à astrologia na época. No primeiro capítulo do *Livre de Divinacions*, Oresme dividiu a astrologia em seis partes principais, “das quais a primeira é, essencialmente, o que nós chamaríamos de astronomia”³⁴⁴ (GRANT, 1966, p. 65). Nas palavras de Oresme:

Existem muitas artes ou ciências por meio das quais os homens estão acostumados a perguntar sobre o futuro ou sobre coisas ocultas, secretas e escondidas, ou que podem ser aplicadas a tais usos. Uma dessas é a astrologia, que me parece ter seis partes principais. A primeira dessas tem a ver, sobretudo, com os movimentos, os signos e as medidas dos corpos celestes, para que por meio de tabelas, constelações, eclipses e coisas do tipo coisas no futuro possam ser conhecidas³⁴⁵ (ORESME, 1952, p. 53).

Segundo o filósofo, essa parte da astrologia consiste em uma ciência com base matemática, mas que não pode ser conhecida com exatidão³⁴⁶. Quanto à segunda parte, Oresme diz que a mesma

“diz respeito às qualidades, às influências, e poderes físicos das estrelas, com os signos do zodíaco, com os graus, com os signos

³⁴² Segundo Grant, Oresme “era totalmente cético de que os seres humanos pudessem prever eventos futuros a partir de movimentos celestes que eram, muito provavelmente, matematicamente incomensuráveis” (GRANT, 1966, p. 65). No original: “was wholly skeptical that human beings could foretell future events from celestial motions which were, very likely, mathematically incommensurable”.

³⁴³ Grant afirma que Oresme, “como tantos pensadores medievais, acreditava firmemente em uma influência física geral dos corpos celestes sobre as atividades humanas” (*ibid.*, p. 65). Nesse ponto, Grant faz referência à meteorologia e à medicina, conforme se depreende da nota de rodapé nº 86 de seu texto, quando ele cita a explicação de Oresme acerca das três subdivisões da terceira parte da astrologia. No original: “like so many medieval thinkers, believed firmly in an overall physical influence of the celestial bodies on human activities”.

³⁴⁴ No original: “of which the first is essentially what we would call astronomy”.

³⁴⁵ Na tradução em inglês: “There are many arts or sciences by means of which men are accustomed to enquire into the future or into things occult, secret, and hidden, or which can be applied to such uses. One of these is astrology which appears to me to have six principal parts. The first of these has to do chiefly with the movements, the signs, and the measurements of the heavenly bodies, so that by means of tables, constellations, eclipses and suchlike things in the future can be known”.

³⁴⁶ Diz Oresme, no segundo capítulo do *Livre de Divinacions*: “A primeira parte da astrologia é especulativa e matemática, uma ciência muito nobre e excelente, e estabelecida muito sutilmente nos livros, e essa parte pode ser adequadamente conhecida, mas não pode ser conhecida precisamente e com exatidão pontual, como eu [...] provei por razão fundamentada em demonstração matemática” (ORESME, 1952, p. 55). Na tradução em inglês: “The first part of astrology is speculative and mathematical, a very noble and excellent science and set forth in the books very subtly, and this part can be adequately known but it cannot be known precisely and with punctual exactness, as I [...] have proved by reason founded on mathematical demonstration”.

celestes, e assim por diante; como, por exemplo, que uma estrela em um quadrante do céu significa ou tem o poder de causar calor ou frio, secura ou umidade, e similarmente [o mesmo ocorre] com outros efeitos físicos. Essa parte da astrologia é introdutória à produção de previsões”³⁴⁷ (ORESME, 1952, p. 53).

Nesse ponto, Oresme se refere à influência dos corpos celestes nas condições meteorológicas na Terra, mas não deixa de exercer o seu senso crítico em relação a tal possibilidade, advertindo que o conhecimento a respeito é limitado, conforme explica no segundo capítulo do *Livre de Divinacions*:

A segunda parte [da astrologia] é uma parte da ciência natural e é uma grande ciência, e também pode ser conhecida no que se refere à sua natureza, mas nós sabemos demasiado pouco sobre ela e, em particular, as regras nos livros são falsas, como Averróis diz, e têm poucas provas ou nenhuma. E algumas delas, que se cumpriram no local ou no momento em que foram previstas, são falsas em outros lugares ou presentemente: pois as estrelas fixas, que de acordo com os antigos têm grande influência, não estão agora na posição em que então estavam, e essas mesmas posições são usadas para fazer previsões³⁴⁸ (*ibid.*, p. 55).

A terceira parte da astrologia, conforme a divisão de Oresme, baseia-se nos movimentos dos corpos celestes, e pode ser utilizada para três tipos de previsões: acerca dos acontecimentos mundiais, do mundo natural (especialmente no que concerne à temperatura) e do corpo. Diz o filósofo:

A terceira parte lida com as revoluções das estrelas e com as conjunções dos planetas, e é aplicada a três tipos de previsões; primeiro, para conhecermos, a partir das principais conjunções, os grandes eventos do mundo, como pragas, mortalidades, fome, inundações, grandes guerras, o surgimento e a queda de reinos, o aparecimento de profetas, novas religiões e mudanças semelhantes; em seguida, para conhecermos o estado da atmosfera, as mudanças no tempo, de quente para frio, de seco para úmido, ventos, tempestades, e tais movimentos na natureza; terceiro, para podermos julgar quanto

³⁴⁷ Na tradução em inglês: “is concerned with the qualities, the influences, and physical powers of the stars, with the signs of the zodiac, with degrees, with the heavenly signs, and so on; as, for instance, that a star in one quarter of the sky signifies or has power to cause heat or cold, dryness or moisture, and similarly with other physical effects. This part of astrology is introductory to the making of predictions”.

³⁴⁸ Na tradução em inglês: “The second part is a part of natural science and is a great science and it too can be known so far as its nature is concerned but we know too little about it and in particular the rules in the books are false, as Averroes says, and have either slight proof or none. And some of them which were fulfilled in the place or at the time when they were laid down, are false in other places or at the present time: for the fixed stars which according to the ancients have great influence are not now in the position they were in then and these same positions are used in making predictions”.

aos humores do corpo e como medicá-lo, e assim por diante³⁴⁹ (ORESME, 1952, p. 53).

Aqui, Oresme apresenta a função clássica da astrologia que ele pretende criticar, isto é, a capacidade de que tal prática possa ser utilizada para prever o futuro. No segundo capítulo, o filósofo expõe suas considerações a respeito, e no que concerne ao emprego da astrologia para prever o tempo e cuidar da saúde do corpo, ele diz:

E das três subdivisões da terceira parte da astrologia, a primeira, que se ocupa com os grandes eventos do mundo, pode ser e é suficientemente bem conhecida, mas apenas em termos gerais. Especialmente, nós não podemos saber em que país, em qual mês, através de quais pessoas, ou sob que condições tais coisas ocorrerão, ou as outras circunstâncias particulares. Em segundo lugar, quanto à mudança no tempo, esta parte, por sua natureza, permite a aquisição de conhecimento, mas é muito difícil, e não é agora, nem nunca foi, para alguém que a estudou, mais do que inútil, pois as regras da segunda parte são majoritariamente falsas, como já disse, e são presumidas neste ramo. E, similarmente, as regras pormenorizadas que se aplicam nessa parte são falsas, de modo que vemos todos os dias que marinheiros e lavradores podem profetizar mudanças no tempo melhor do que os astrônomos. Em terceiro lugar, no que diz respeito à medicina, podemos saber certa quantidade, quanto aos efeitos, que resultam do curso do sol e da lua, mas além disso pouco ou nada. Toda esta terceira parte da astrologia está relacionada, sobretudo, com efeitos físicos; as partes que se seguem, com os efeitos da fortuna³⁵⁰ (*ibid.*, p. 55 e 57).

Como diz Oresme, as três partes restantes da astrologia referem-se à “fortuna”, ou seja, ao destino, à sorte (ou azar) do indivíduo, sendo a quarta parte relativa às

³⁴⁹ Na tradução em inglês: “The third part deals with the revolutions of the stars and with the conjunctions of the planets, and is applied to three kinds of predictions; first, that we may know from the major conjunctions the great events of the world, as plagues, mortalities, famine, floods, great wars, the rise and fall of kingdoms, the appearance of prophets, new religions, and similar changes; next, that we may know the state of the atmosphere, the changes in the weather, from hot to cold, from dry to wet, winds, storms, and such movements in nature; third, that we may judge as to the humours of the body and as to taking medicine and so on”.

³⁵⁰ Na tradução em inglês: “And of the three subdivisions of the third part of astrology the first, which is concerned with the great events of the world, can be and is sufficiently well known but only in general terms. Especially we cannot know in what country, in what month, through what persons, or under what conditions, such things will happen, or the other particular circumstances. Secondly, as regards change in the weather, this part by its nature permits of knowledge being acquired therein but it is very difficult and is not now, nor has it ever been to any one who has studied it, more than worthless, for the rules of the second part are mostly false as I have said, and are assumed in this branch. And, similarly, the detailed rules bearing on this part are false, so that we see every day that sailors and husbandmen can prophesy changes in the weather better than the astronomers. In the third place, so far as medicine is concerned, we can know a certain amount as regards the effects which ensue from the course of the sun and moon but beyond this little or nothing. All this third part of astrology has to do chiefly with physical effects; the parts which follow, with the effects of fortune”.

constelações celestes no instante do nascimento de alguém³⁵¹, a quinta parte acerca de interrogações humanas³⁵², e a sexta parte está relacionada ao processo de tomada de decisões³⁵³. Oresme recusa a veracidade de todas essas formas de astrologia, afirmando, em relação à quarta parte (das natividades), que

“vemos frequentemente, na prática, que duas pessoas nascem em intervalos de tempo tão diminutos que não podem ser registrados e, mesmo assim, seus destinos são bastante diferentes, então eu digo que esta parte da astrologia não pode ser conhecida e as regras escritas sobre ela não são verdadeiras”³⁵⁴ (ORESME, 1952, p. 57).

Ou seja, para Oresme, se as regras dessa parte da astrologia fossem verdadeiras, duas pessoas que nasceram praticamente ao mesmo tempo deveriam ter destinos semelhantes, dado que teriam nascido regidas pela mesma configuração do céu. Por fim, em relação às duas últimas formas da astrologia, o filósofo descarta-as de imediato, afirmando que ambas “não têm fundamento razoável e não há verdade nelas”³⁵⁵ (*ibid.*, p. 57).

Depreende-se do exposto que Oresme não operou uma ruptura completa com a crença medieval na astrologia, mas a questionou no que diz respeito às suas principais aplicações, como na medicina, para a qual tal prática teria pouca utilidade. Isso representava um distanciamento significativo em relação ao entendimento da época,

³⁵¹ Diz Oresme: “A quarta parte tem a ver com as natividades, e especialmente com decisões quanto à fortuna de um homem a partir da constelação que está no céu no momento de seu nascimento” (ORESME, 1952, p. 55). Na tradução em inglês: “The fourth part has to do with nativities, and especially with decisions as to a man's fortune, from the constellation which is in the heavens at the moment of his birth”.

³⁵² Prossegue o filósofo: “A quinta [parte] lida com interrogações, isto é, [alguém] decide e responde uma pergunta de acordo com a constelação que está no céu no momento em que a pergunta é feita” (*ibid.*, p. 55). Na tradução em inglês: “The fifth deals with interrogations, that is, decides and answers a question according to the constellation which is in the heavens at the time when the question is asked”.

³⁵³ Na sequência: “A sexta [parte] é a das escolhas, pelas quais o momento para começar uma jornada ou realizar uma tarefa é determinado, e nesta parte está incluído o ramo que ensina como fazer imagens [...], anéis e coisas semelhantes” (*ibid.*, p. 55). Na tradução em inglês: “The sixth is of elections by which the time to start a journey or to undertake a task is ascertained and in this part is included the branch which teaches how to make images [...], rings, and such things”.

³⁵⁴ Na tradução em inglês: “one often sees in practice that two people are born at intervals of time so minute as cannot be recorded and yet their fortunes are quite different, so I say that this part of astrology cannot be known and the rules written down on it are not true”.

³⁵⁵ Na tradução em inglês: “have no reasonable foundation and there is no truth in them”.

segundo o qual a astrologia era um aspecto fundamental para determinar a saúde ou a falta dela em um indivíduo³⁵⁶.

Nota-se que o esforço de Oresme em desacreditar a astrologia envolveu diversos ramos do conhecimento, atualmente disciplinas autônomas. Como vimos, o combate às previsões astrológicas tinha contornos matemáticos e físicos, mas também motivação política. No decorrer deste capítulo, algumas das questões abordadas nesse tópico sobre a astrologia serão mais bem detalhadas como, por exemplo, a questão da incomensurabilidade dos movimentos celestes.

4.3 A teoria da qualidade motriz de Oresme

Assim como Buridan, Oresme também empregou a ideia da existência de uma força motriz transmitida ao corpo em movimento para explicar a trajetória antinatural do projétil, em oposição à tese aristotélica que conferia ao ar a causa de tal deslocamento. Oresme trata dessa questão em seus comentários ao Capítulo XIII do Livro II do *De caelo*³⁵⁷, onde Aristóteles, segundo Oresme, apresenta um argumento para mostrar que o movimento celeste é regular. Oresme inicia o texto traduzindo a tese aristotélica, segundo a qual “devemos proceder à discussão seguinte, [sobre] o fato de que o movimento dos céus é regular ao invés de irregular”³⁵⁸ (ORESME, 1968a, p. 411), comentando-a em seguida. De acordo com Oresme, os movimentos podem ser regulares ou irregulares, mas também uniformes ou disformes. No que concerne à regularidade do movimento, este é regular caso seja igualmente rápido em cada momento, de modo que a regularidade ou não do movimento tem a ver com o tempo de deslocamento. Por sua

³⁵⁶ Como já mencionado, havia um vínculo entre medicina e astrologia no período medieval, conforme explica Lindberg: “A influência celestial começava na concepção, contribuindo para o temperamento ou aparência do embrião recém-concebido. Após o nascimento, todo ser humano era receptor de um fluxo contínuo de forças celestes, diretamente ou através do ar circundante, e essas influências afetavam o temperamento, a saúde e a doença. De fato, a influência astrológica era frequentemente invocada para explicar grandes epidemias, tais como a Peste Negra de 1347-51” (LINDBERG, 2007, p. 339 e 341). No original: “Celestial influence began at conception, contributing to the temperament or complexion of the newly conceived embryo. After birth, every human was the recipient of a continuous flow of celestial forces, either directly or through the surrounding air, and these influences affected temperament, health, and disease. Indeed, astrological influence was frequently invoked to explain major epidemics, such as the black death of 1347-51”.

³⁵⁷ Ou seja, no *Le Livre du ciel et du monde*. Neste trabalho, utilizarei a tradução da obra em inglês.

³⁵⁸ Na tradução em inglês: “We must proceed to discuss next the fact that the motion of the heavens is regular rather than irregular”.

vez, a uniformidade ocorre quando as partes do objeto em movimento movem-se com a mesma velocidade, de modo que a uniformidade está relacionada ao objeto, independentemente de o movimento ser regular ou irregular, isto é, independentemente do tempo. Nesse ponto, Oresme conclui que o movimento dos céus é *disforme*, pois algumas partes do céu se movem mais lentamente do que outras, embora seu movimento seja regular. Diz Oresme:

Regularidade [...] e uniformidade estão presentes no movimento, juntamente com seus opostos, em relação à velocidade do movimento, mas este caso é diferente porque regularidade e irregularidade estão presentes em relação ao tempo; por exemplo, se um movimento é igualmente rápido em cada parte de seu tempo, ele é regular; se não, é irregular. Mas uniformidade e disformidade dizem respeito ao próprio sujeito, assim [...], quando cada parte do objeto em movimento se move com igual velocidade, o movimento é uniforme; se não, é disforme, seja qual for a relação temporal. Assim, o movimento dos céus não é uniforme porque as partes mais próximas do centro e aquelas mais próximas dos polos movem-se mais lentamente do que as outras, mas o movimento é regular, como será mostrado mais adiante³⁵⁹ (ORESME, 1968a, p. 411).

Para Oresme, Aristóteles afirma que caso os céus se movessem irregularmente, deveria haver alteração de velocidade (acréscimo ou decréscimo), dado que os movimentos irregulares possuem três características³⁶⁰ (ou, conforme comenta Oresme, pelo menos duas delas)³⁶¹, referentes à ocasião em que o movimento alcança o pico de

³⁵⁹ Na tradução em inglês: “Regularity [...] and uniformity are present in motion, along with their opposites, in relation to the speed of the movement, but this case is different because regularity and irregularity are present with respect to time; for instance, if a movement is equally fast in each part of its time, it is regular; if not, it is irregular. But uniformity and difformity are concerned with the subject itself, just [...] when each part of the moving object moves with equal speed, the motion is uniform; if not, it is difform, whatever may be the time relation. Thus the movement of the heavens is not uniform because the parts nearest the center and those nearest the poles move more slowly than the others, but the motion is regular, as will be shown later”.

³⁶⁰ Conforme a tradução de Oresme, Aristóteles afirma no *De caelo* que “se os céus se movessem irregularmente, seu movimento exigiria mudança de intensidade e força ou aumento de velocidade, e eles precisariam ser capazes de exercer controle reduzindo ou enfraquecendo suas maiores velocidades possíveis porque todo movimento irregular [...] possui essas três características” (ORESME, 1968a, p. 413). Na tradução em inglês: “if the heavens moved irregularly, their motion would require change of intensity and force or increase of velocity, and they would need to be able to exert control by reducing or weakening its greatest possible speed because all irregular motion [...] possesses these three characteristics”.

³⁶¹ Diz Oresme em sua glosa ao texto acima: “Ou ao menos duas delas” (*ibid.*, p. 413), ou seja, os movimentos irregulares possuiriam ao menos duas das características que serão mencionadas adiante. Na tradução em inglês: “Or at least two of them”.

velocidade. Conforme a passagem identificada como sendo a tradução de Oresme do texto do *De caelo* (identificada pela letra “T”)³⁶², Aristóteles teria afirmado que:

“a velocidade máxima ou o clímax de tal movimento irregular está ou no início, no fim ou no objetivo para o qual o movimento é direcionado ou no meio do processo de movimento; por exemplo, no movimento natural o clímax está em direção ao fim ou ao objetivo; no movimento violento, o clímax está próximo do ponto de partida; e no caso de algo lançado, o clímax está no ponto médio do movimento”³⁶³ (ORESME, 1968a, p. 413).

Ou seja, as três características mencionadas por Oresme dizem respeito ao momento em que o movimento irregular atinge o seu pico, que pode ser no início, no fim ou no meio do movimento. Aqui, o texto faz uma distinção entre movimento violento e arremesso, que Oresme explica em sua glosa ao texto aristotélico. De acordo com Oresme, existem quatro tipos de movimento local, sendo um deles completamente natural, outro inteiramente violento, um parcialmente violento (arremesso) e o movimento voluntário, sendo este oriundo da vontade de um homem ou animal, como por exemplo, andar, voar e nadar. Diz o autor:

É habitual dizer que o movimento natural é mais rápido no final, o movimento violento em seu início e o movimento voluntário no meio. Mas, a fim de entender isso claramente, é necessário ter em mente que existem quatro tipos de movimento local que têm início e fim. Os primeiros são puramente naturais, como um corpo pesado caindo direto para baixo; outros são completamente violentos, como um corpo pesado movendo-se direto para cima no alto; outros não são completamente violentos, como uma coisa arremessada ou puxada transversalmente como uma flecha; e outros são causados pela força

³⁶² Tal afirmação parece estar ausente do texto do Livro II, Capítulo XIII do *De caelo*. Esse fato, associado à discrepância entre o tamanho do texto do referido capítulo no *De caelo* e o reduzido número de passagens apresentadas por Oresme como sendo traduções do texto aristotélico (poucas passagens identificadas com a letra “T” de “tradução”, sendo a maior parte do texto de Oresme identificado com a letra “G” de glosa, conforme p. xii das notas do editor) lança dúvidas sobre se Oresme de fato pretendeu oferecer uma tradução contínua (frase por frase) do *De caelo* e levanta a possibilidade de que o autor tenha inserido suas próprias reflexões como sendo aristotélicas. De toda forma, trata-se apenas de uma hipótese a ser investigada pelos historiadores da ciência e da filosofia, e que em nada interfere na presente tese, cujo objeto reside em analisar as ideias de Oresme, independentemente se elas foram assumidas por ele como próprias ou se as creditou a Aristóteles.

³⁶³ Na tradução em inglês: “the maximum speed or climax of such irregular motion is either at the beginning or at the end or goal toward which the motion is directed or in the middle of the moving process; for example, in natural motion the climax is toward the end or goal; in violent motion the climax is near the starting point; and in the case of something thrown the climax is at the mid-point of the movement”.

de vontade de um animal ou de um homem, tais como andar, voar, nadar³⁶⁴ (ORESME, 1968a, p. 415).

Na sequência, Oresme detalha o argumento dizendo que, no movimento natural, a força e a velocidade aumentam, como quando uma pedra está em trajetória descendente; enquanto no movimento violento, como no lançamento vertical de uma flecha³⁶⁵, a força aumenta no início, dissipando-se depois; por fim, no movimento voluntário, o pico de velocidade é alcançado no meio do deslocamento, conforme pontua o autor:

O primeiro tipo, puramente natural, aumenta [...] em força e velocidade, mantidas as demais condições, como uma pedra caindo diretamente para baixo através do ar. O segundo tipo, uma flecha disparada verticalmente para cima, aumenta em força no início e enfraquece e diminui para o final do movimento; o terceiro da mesma forma, exceto que aumenta em força por mais tempo e seu clímax está mais longe de seu ponto de partida do que no caso do tipo de movimento completamente violento. O quarto tipo é mais forte no ponto médio do movimento³⁶⁶ (*ibid.*, p. 415).

A seguir, Oresme explica como se dá o movimento dos corpos, afirmando que ele ocorre por meio de uma força crescente, iniciada a partir do zero, e cuja causa reside no excesso da força motriz sobre a resistência. Assim, conforme a força motriz aumenta paulatinamente, a velocidade do corpo aumenta, como sugere Oresme:

Para entender as causas dessas coisas, afirmo, em primeiro lugar, que o movimento de qualquer corpo pesado ou leve, qualquer que seja, começa com força crescente, de forma que não importa qual a velocidade originalmente dada ou atribuída a ele, ele deve ter tido

³⁶⁴ Na tradução em inglês: “It is customary to say that natural motion is fastest at the end, violent motion at its inception, and voluntary motion in the middle. But in order to understand this clearly, it should be borne in mind that there are four kinds of local motion that have beginning and end. The first are purely natural, as a heavy body falling straight down; others are completely violent, as a heavy body moving straight up on high; others are not completely violent, as a thing thrown or drawn crosswise or transversely like an arrow; and others are caused by the force of will of animal or of man, such as walking, flying, swimming”.

³⁶⁵ Aqui temos uma sutileza no argumento de Oresme, que utiliza o lançamento da flecha como exemplo para o segundo e o terceiro tipo de movimento. Ocorre que a flecha executa um movimento inteiramente violento quando é lançada verticalmente, enquanto executa um movimento parcialmente violento quando é lançada transversalmente, conforme explicitado na última passagem da página anterior.

³⁶⁶ Na tradução em inglês: “The first kind, purely natural, increases [...] in force and speed, other things being equal, as a stone falling straight down through the air. The second kind, an arrow shooting straight upward, increases in force at the beginning and weakens and slows down toward the end of the motion; the third likewise, except that it increases in force for a longer time and its climax is farther from its starting point than in the case of the completely violent kind of motion. The fourth kind is strongest at the mid-point of the movement”.

anteriormente menos velocidade, e cada vez menos e menos, além de qualquer proporção, e isso é o que é comumente chamado de começar do zero. A causa é, em geral, o excesso da força motriz sobre a resistência, porque a aplicação dessa força à resistência não pode ser feita de repente, mas deve ser feita uma parte após a outra, com cada parte tão afetada que nada pode ocorrer subitamente³⁶⁷ (ORESME, 1968a, p. 415).

Segundo Oresme, o aumento da velocidade provoca o aparecimento de uma *força* ou *rigidez*³⁶⁸, que contribui para o movimento natural e promove a continuidade do movimento violento após este perder o contato com o motor. Oresme não emprega a palavra *impetus* para nomear essa força, caracterizando-a como uma “qualidade motriz”³⁶⁹, embora seja claro que se trata de uma ideia muito semelhante à de Buridan, ou seja, de algo que causa o prosseguimento da trajetória antinatural do projétil. No caso de Buridan, o *impetus* é transmitido ao movente pelo motor³⁷⁰, enquanto Oresme não deixa claro de imediato se essa “qualidade motriz” é oriunda desse motor:

Com o aumento dessa velocidade, uma nova qualidade motriz é adquirida e criada no corpo móvel, que podemos chamar de força ou rigidez; essa qualidade ou tensão auxilia no movimento natural e impulsiona o objeto movido violentamente depois de ser separado do motor ou agente primário. A geração dessa qualidade ou tensão aumenta e cresce enquanto a aceleração ou velocidade aumenta e fica mais forte. Quando a aceleração enfraquece, a despeito do fato que ela continua a existir, a aceleração dessa qualidade diminui, embora a qualidade continue a crescer³⁷¹ (*ibid.*, p. 415 e 417).

Em seguida, Oresme explica que o movimento violento possui três estágios ou partes, e nesse ponto ele parece sugerir que a qualidade motriz é gerada através do

³⁶⁷ Na tradução em inglês: “To understand the causes of these things, I say, first of all, that the motion of any heavy or light body whatever begins with increasing force so that no matter what the speed originally given or assigned to it, it must previously have had less speed and increasingly less and less beyond any ratio and this is what is commonly called to begin at zero. The cause is, in general, the excess of the motive force over the resistance because the application of this force to the resistance cannot be made suddenly, but must be made one part after the other with each part so affected that nothing can take place suddenly”.

³⁶⁸ No original em francês, “force ou redeur” (ORESME, 1968a, p. 414).

³⁶⁹ No original em francês, “qualité motive” (*ibid.*, p. 414).

³⁷⁰ Ver página 160 deste trabalho.

³⁷¹ Na tradução em inglês: “By the increase of this speed a new motive quality is acquired by and created in the mobile body which we may call force or rigidity; this quality or tension assists in natural motion and propels the object moved violently after it is separated from the prime mover or agent. The generation of this quality or tension increases and grows as long as the acceleration or speed increases and grows stronger. When the acceleration weakens, in spite of the fact that it continues to exist, the acceleration of this quality diminishes although the quality continues to grow”.

contato com o motor, pois enquanto o movente permanece em contato com o motor a qualidade motriz aumenta. Em contrapartida, quando há a separação entre motor e movente, a qualidade motriz continua aumentando, devido ao aumento da velocidade, mas em um ritmo menor, até cessar (momento em que a velocidade não aumenta mais). Por fim, no terceiro estágio, o peso³⁷² do objeto diminui essa qualidade motriz, que age contra a disposição do objeto em retornar ao seu lugar natural (a Terra), mas que vai diminuindo até se extinguir, momento em que o movimento violento cessa e dá lugar ao movimento natural do corpo em direção ao solo. Com essa tese, Oresme procura salvar as aparências, explicando o fenômeno do movimento antinatural em consonância com o modo com que ele é observado. Nas palavras do filósofo:

Portanto, o movimento violento tem três estágios ou partes: um estágio é quando o objeto móvel está [...] em contato com o agente causador da violência; nesse momento, a velocidade aumenta e, se não houver obstáculo accidental, a geração ou aceleração da velocidade aumenta. Disso, segue-se que o crescimento dessa qualidade ou tensão também aumenta. Em segundo lugar, quando o corpo violentamente movido se separa do agente ou motor primário, então a velocidade aumenta, mas a geração, fortalecimento ou aumento da velocidade tornam-se cada vez menores e finalmente param; e nesse momento a própria velocidade e a qualidade ou tensão não mais aumentam. O terceiro estágio começa; então a qualidade natural do objeto em movimento, seu peso, reduz essa qualidade ou tensão que milita contra seu movimento natural, de forma que o movimento diminui e a violência diminui e finalmente para. Desse modo, e de nenhum outro, podemos explicar as aparências de todos os experimentos que podemos observar com movimento violento, seja verticalmente para o alto, verticalmente para baixo, cruzado ou circular, em relação a sua velocidade e lentidão, e reflexão ou retorno, e com respeito a todas essas questões para as quais podemos atribuir alguma outra causa suficiente, como eu já expliquei anteriormente mais detalhadamente³⁷³ (ORESME, 1968a, p. 417).

³⁷² Ou seja, a massa do objeto, constituído pelo elemento “terra” na acepção de Aristóteles.

³⁷³ Na tradução em inglês: “Therefore, violent movement has three stages or parts: one stage is when the mobile object is [...] in contact with the agent causing the violence; at that moment the speed increases and, if there is no accidental hindrance, the generation or acceleration of the speed increases. From this, it follows that the growth of this quality or tension also increases. Secondly, when the violently moved body is separated from the agent or prime mover, then the speed increases, but the generation, strengthening, or increase of speed become less and less and finally stop; and at that moment the speed itself and the quality or tension no longer increase. The third stage begins; then the natural quality of the moving object, its weight, reduces this quality or tension which militates against its natural motion so that the movement slows down and the violence diminishes and finally stops. In this way and in no other can we explain the appearances of all the experiments we can observe with violent motion, either straight up on high, straight down below, crisscross, or circular, with respect to their speed and slowness and reflexion or return and with respect to all such matters for which we can assign some other sufficient cause, as I have previously explained more fully”.

Ademais, Oresme também emprega sua teoria da qualidade motriz para explicar o aumento da velocidade no movimento natural, afirmando que tal qualidade associa-se ao peso do objeto, contribuindo com seu retorno ao lugar natural. O filósofo conclui que nenhum movimento pode ser inteiramente regular, já que a velocidade sempre aumenta, seja no início (movimento violento), no final (movimento natural) ou no meio (movimento voluntário):

No movimento natural, como quando uma pedra cai, essa qualidade está sempre associada com o peso natural e, por essa razão, a geração de velocidade e dessa qualidade aumenta continuamente, porque o peso e a nova qualidade tendem para um único limite. Isso explica a afirmação de Aristóteles no Capítulo Dezoito do Livro I [...] de que, se um objeto pesado caísse continuamente sem parar, sua velocidade aumentaria incessantemente e, do mesmo modo, seu peso; por esse peso devemos entender essa nova qualidade. É como um peso accidental, já que, nesse caso, tenderia a cair, embora em outro caso pudesse inclinar-se para cima, transversalmente ou de outra forma. Agora concluímos, portanto, que nenhum movimento de um objeto pesado ou leve pode ser inteiramente regular, porque é mais lento no início do que depois, mas é possível, ao menos para a imaginação, que a força motriz e a resistência sejam tão proporcionadas e tão cuidadosamente dispostas que alguma parte do movimento seja regular, apesar da qualidade supracitada. E está suficientemente claro pelo que foi dito [...] aqui e por Aristóteles que a irregularidade acima é devido ao fato de que tais movimentos têm começo e fim, pois alguns são mais rápidos no início, outros no final, e ainda outros no curso médio do movimento³⁷⁴ (ORESME, 1968a, p. 417 e 419).

De acordo com Marshall Clagett, o “impetus” de Oresme era diferente do de Buridan porque, ao que parece, também era afetado pela variação de velocidade (aceleração) e era desprovido de natureza permanente³⁷⁵. Mas, de todo modo, podemos

³⁷⁴ Na tradução em inglês: “In natural motion, as when a stone falls, this quality is always associated with the natural weight, and for this reason the generation of speed and of this quality increases continuously because the weight and the new quality tend toward a single limit. This explains Aristotle’s statement in Chapter Eighteen of Book I [...] that, if a heavy object fell continuously without stopping, its speed would increase endlessly and, likewise, its weight; by this weight we must understand this new quality. It is like an accidental weight since in this case it would tend to fall, although in another case it might incline upward or transversely or otherwise. Now we conclude therefore that no motion of a heavy or light object can be entirely regular because it is slower at the beginning than afterward, but it is possible, at least to the imagination, that motive force and resistance should be so proportioned and so carefully arranged that some part of the motion would be regular, in spite of the aforesaid quality. And it is clear enough from what has been said [...] here and by Aristotle that the above irregularity is due to the fact that such motions have beginning and end because some are faster at the start, others at the end, and still others in the middle course of the movement”.

³⁷⁵ Conforme Clagett, “o ímpeto de Oresme diferia do de Buridan em dois aspectos principais. (1) Ele não era mais simplesmente uma função da velocidade, mas aparentemente da aceleração também. (2) Ele já não era considerado como sendo de natureza permanente. Assim, não é surpreendente que Oresme não explique o movimento dos céus em termos de ímpeto” (CLAGETT, 1961, p. 552). No original: “Oresme’s impetus differed from Buridan’s in two major respects. (1) It was no longer simply a function

entender a teoria da qualidade motriz de Oresme como um aprimoramento da teoria do *impetus* de Buridan, mantendo a preocupação de explicar os fenômenos naturais de modo a salvar as aparências, em conformidade com a ciência da época, ainda bastante dependente da observação dos fenômenos a olho nu.

4.4 Movimento relativo e composto

Nos seus comentários ao Capítulo XXV do Livro II do *De caelo*, isto é, em seu *Le Livre du ciel et du monde*, Oresme desenvolveu um raciocínio que parece antecipar a noção moderna de *relatividade do movimento*. O filósofo empreende tal argumentação no intuito de afirmar a impossibilidade de que a experiência possa demonstrar que os céus estão em movimento, e não a Terra, hipótese que era amplamente aceita na época. Segundo Oresme, nenhum argumento a respeito pode ser conclusivo. A princípio, ele apresenta a tese de Aristóteles, segundo a qual algumas pessoas sustentavam que a Terra estava no centro do mundo, girando em torno de um polo³⁷⁶, para depois comentar tal ideia:

Esta era a opinião de um filósofo chamado Heráclides [...] Pôntico, que sustentava que a Terra se move circularmente e que os céus permanecem em repouso. Aqui, Aristóteles não refuta essas teorias, possivelmente porque elas lhe pareciam de pouca probabilidade e foram, além disso, suficientemente criticadas em escritos filosóficos e astrológicos. No entanto, sujeitas, claro, a correções, parece-me que é possível aceitar o argumento e considerar favoravelmente as conclusões estabelecidas na opinião acima, de que a Terra, ao invés dos céus, tem uma rotação diurna ou diária. Inicialmente, gostaria de afirmar que é impossível demonstrar, a partir de qualquer experiência, que o contrário é verdadeiro; em segundo lugar, que nenhum argumento é conclusivo; e, em terceiro lugar, irei demonstrar por que isso é assim³⁷⁷ (ORESME, 1968a, p. 521).

of velocity but apparently of acceleration as well. (2) It was no longer considered to be of permanent nature. Hence, it is not surprising that Oresme does not explain the movement of the heavens in terms of *impetus*".

³⁷⁶ Diz Aristóteles, nas palavras de Oresme: "Existem outros que sustentam que a Terra está no centro do mundo e que gira e se move em um circuito ao redor do polo estabelecido para esse propósito, como está escrito no livro de Platão chamado *Timeu*" (ORESME, 1968a, p. 519). Na tradução em inglês: "There are others who hold that the earth is at the center of the world and that it revolves and moves in a circuit around the pole established for this purpose, as is written in Plato's book called *Timaeus*".

³⁷⁷ Na tradução em inglês: "This was the opinion of a philosopher named Heraclides [...] Ponticus, who maintained that the earth moves circularly and that the heavens remain at rest. Here Aristotle does not refute these theories, possibly because they seemed to him of slight probability and were, moreover, sufficiently criticized in philosophical and astrological writings. However, subject, of course, to correction, it seems to me that it is possible to embrace the argument and consider with favor the conclusions set forth in the above opinion that the earth rather than the heavens has a diurnal or daily

Contudo, na sequência, Oresme não oferece argumentos para provar a impossibilidade de demonstrar o movimento celeste, centrando seus esforços na tentativa de mostrar o contrário, ou seja, que tal movimento parece ocorrer, ao invés do movimento da Terra. Diz o filósofo:

Quanto ao primeiro ponto, vamos examinar uma experiência: podemos ver com nossos olhos o nascer e o pôr do Sol, a Lua, e várias estrelas, enquanto outras estrelas giram ao redor do polo ártico. Tal coisa se deve apenas ao movimento dos céus, como foi mostrado no Capítulo Dezesesseis [...], e, portanto, os céus se movem com movimento diário. Outra experiência é esta: se a terra é assim movida, ela faz seu [...] curso completo em um dia natural, com o resultado de que nós, as árvores e as casas são movidas muito rapidamente para o leste; assim, deve parecer-nos que o ar e o vento estão sempre vindo muito fortes do leste e que deveriam fazer um ruído tal como o que fazem contra a flecha disparada de um arco-e-flecha, ou um ruído ainda mais alto, mas o contrário é evidente pela experiência. O terceiro argumento é de Ptolomeu – nomeadamente, que, se alguém estivesse em um barco movendo-se rapidamente para o leste e atirasse uma flecha em linha reta para cima, ela não cairia no barco, mas longe, para o oeste. Da mesma forma, se a Terra se movesse tão rapidamente girando do oeste para o leste, e se alguém jogasse uma pedra diretamente para cima, ela não cairia de volta para o lugar de onde foi atirada, mas muito para o oeste; e o contrário parece ser o caso³⁷⁸ (ORESME, 1968a, p. 521).

Em seguida, Oresme desenvolve sua argumentação acerca da relatividade do movimento, utilizando o exemplo de um homem em um barco, cuja percepção do movimento depende do deslocamento ou do repouso de outro barco. Assim, se o barco A no qual o homem está move-se da mesma forma que o barco B, essa pessoa terá a percepção de que os dois barcos estão em repouso. No caso em que o barco A está parado enquanto o B se move, o homem perceberá o movimento deste último, percepção que se mantém no caso inverso, ou seja, se A estiver se movendo e B estiver

rotation. At the outset, I wish to state that it is impossible to demonstrate from any experience at all that the contrary is true; second, that no argument is conclusive; and third, I shall demonstrate why this is so”.

³⁷⁸ Na tradução em inglês: “As to the first point, let us examine one experience: we can see with our eyes the rising and setting of the sun, the moon, and several stars, while other stars turn around the arctic pole. Such a thing is due only to the motion of the heavens, as was shown in Chapter Sixteen [...], and, therefore, the heavens move with daily motion. Another experience is this one: if the earth is so moved, it makes its [...] complete course in a natural day with the result that we and the trees and the houses are moved very fast toward the east; thus, it should seem to us that the air and wind are always coming very strong from the east and that it should make a noise such as it makes against the arrow shot from a crossbow or an even louder one, but the contrary is evident from experience. The third argument is Ptolemy’s — namely, that, if someone were in a boat moving rapidly toward the east and shot an arrow straight upward, it would not fall in the boat but far behind it toward the west. Likewise, if the earth moves so very fast turning from west to east and if someone threw a stone straight upward, it would not fall back to the place from which it was thrown, but far to the west; and the contrary appears to be the case”.

parado. Oresme ainda propõe que se A ficasse em repouso durante uma hora enquanto B se move, e na hora seguinte B ficasse em repouso enquanto A se move, o homem não perceberia tal variação, imaginando que B estivesse em movimento durante duas horas. Segundo Oresme, só podemos perceber o movimento local se observarmos a mudança de posição de um corpo em relação a outro. Ou seja, a percepção do movimento depende de um *referencial*³⁷⁹. Nas palavras de Oresme:

Agora, tomo como um fato que o movimento local pode ser percebido apenas se pudermos ver que um corpo assume uma posição diferente em relação a outro corpo. Por exemplo, se um homem está em um barco A, que se move muito suavemente, seja em alta ou baixa velocidade, e se esse homem não vê nada exceto outro barco B, que se move precisamente como o barco A, aquele em que ele está parado, sustento que, para esse homem, parecerá que nenhum barco está se movendo. Se A repousa enquanto B se move, ele estará ciente de que B está se movendo; se A se move e B repousa, parecerá ao homem em A que A está em repouso e B está em movimento, exatamente como antes. [...] Assim, se A repousasse por uma hora e B se movesse, e durante a próxima hora acontecesse o contrário, que A se movesse e B repousasse, esse homem não seria capaz de sentir essa mudança ou variação; pareceria a ele que durante todo esse tempo B estava se movendo. Este fato é evidente pela experiência, e a razão é que os dois corpos A e B têm uma relação contínua entre si, de forma que, quando A se move, B repousa e, inversamente, quando B se move, A repousa³⁸⁰ (ORESME, 1968a, p. 523).

Oresme prossegue fazendo uma analogia entre o exemplo do barco e o movimento dos céus, dizendo que, do ponto em que estamos (a Terra), parece-nos que os céus estão em movimento, impressão que se manteria caso estes estivessem em repouso e a Terra estivesse girando. Segundo o filósofo, sempre pensaríamos que a parte que ocupamos no cosmos está em repouso, enquanto o restante está se movendo. Analogamente, caso um homem observasse a Terra a partir dos céus, parecer-lhe-ia que estes estão em repouso e a Terra em movimento, mesmo que ocorresse o inverso, isto é, se a Terra estivesse em repouso e os céus em movimento. Diz Oresme:

³⁷⁹ Oresme não utiliza esse termo, cuja aplicação ocorreu no contexto da física clássica.

³⁸⁰ Na tradução em inglês: “Now, I take as a fact that local motion can be perceived only if we can see that one body assumes a different position relative to another body. For example, if a man is in a boat *a*, which is moving very smoothly either at rapid or slow speed, and if this man sees nothing except another boat *b*, which moves precisely like boat *a*, the one in which he is standing, I maintain that to this man it will appear that neither boat is moving. If *a* rests while *b* moves, he will be aware that *b* is moving; if *a* moves and *b* rests, it will seem to the man in *a* that *a* is resting and *b* is moving, just as before. [...] Thus, if *a* rested an hour and *b* moved, and during the next hour it happened conversely that *a* moved and *b* rested, this man would not be able to sense this change or variation; it would seem to him that all this time *b* was moving. This fact is evident from experience, and the reason is that the two bodies *a* and *b* have a continual relationship to each other so that, when *a* moves, *b* rests and, conversely, when *b* moves, *a* rests”.

Digo, portanto, que, se a [parte] superior das duas partes do mundo mencionadas acima³⁸¹ fosse movida hoje em movimento diário – como é – e a parte inferior permanecesse imóvel, e se amanhã o contrário acontecesse, de forma que a parte inferior se movesse em movimento diário e a superior – isto é, os céus etc. – permanecesse em repouso, não deveríamos ser capazes de sentir ou perceber essa mudança, e tudo pareceria exatamente o mesmo [...] tanto hoje quanto amanhã com relação a essa mudança. Devemos continuar certos ao assumir que a parte onde nós estamos estava em repouso enquanto a outra parte estava continuamente em movimento, exatamente como parece a um homem em um barco em movimento que as árvores em terra se movem. Da mesma forma, se um homem nos céus, movido e levado ao longo do seu movimento diário, pudesse ver a Terra distintamente e suas montanhas, vales, rios, cidades e castelos, pareceria a ele que a Terra estava se movendo em movimento diário, assim como para nós na Terra parece que os céus estão se movendo. Do mesmo modo, se a Terra se movesse com movimento diário e os céus estivessem imóveis, parecer-nos-ia que a Terra estava imóvel e que os céus pareciam se mover; e isso pode ser facilmente imaginado por qualquer pessoa com entendimento claro³⁸² (ORESME, 1968a, p. 523).

A seguir, Oresme diz que tal raciocínio responde às três experiências anteriormente citadas³⁸³. Em relação à primeira, o filósofo afirma que, caso a Terra se movesse, poder-se-ia dizer que o movimento do Sol, das estrelas e do céu como um todo seria algo aparente. No que concerne à segunda experiência, Oresme diz que não

³⁸¹ Oresme se refere à divisão do mundo que ele havia mencionado um pouco antes, segundo a qual o universo está dividido em duas partes, uma superior, abrangendo os céus, a esfera de fogo e a parte superior do ar, e outra inferior, abrangendo a parte inferior do ar e as esferas da água e da terra. Conforme Oresme, “toda a máquina corpórea ou a massa total de todos os corpos no universo está dividida em duas partes: uma [...] são os céus, com a esfera de fogo e a região superior do ar; toda essa parte, de acordo com Aristóteles no Livro I dos *Meteoros*, move-se em um círculo ou gira a cada dia. A outra parte do universo é todo o restante – isto é, as regiões intermediárias e inferiores do ar, da água, da terra e dos corpos mistos – e, segundo Aristóteles, toda essa parte está imóvel e não tem movimento diário” (ORESME, 1968a, p. 521 e 523). Na tradução em inglês: “the whole corporeal machine or the entire mass of all the bodies in the universe is divided into two parts: one [...] is the heavens with the sphere of fire and the higher region of the air; all this part, according to Aristotle in Book I of *Meteors*, moves in a circle or revolves each day. The other part of the universe is all the rest – that is, the middle and lower regions of the air, the water, the earth, and the mixed bodies – and, according to Aristotle, all this part is immobile and has no daily motion”.

³⁸² Na tradução em inglês: “I say, therefore, that, if the higher of the two parts of the world mentioned above were moved today in daily motion – as it is – and the lower part remained motionless and if tomorrow the contrary were to happen so that the lower part moved in daily motion and the higher – that is, the heavens, etc. – remained at rest, we should not be able to sense or perceive this change, and everything would appear exactly the same [...] both today and tomorrow with respect to this mutation. We should keep right on assuming that the part where we are was at rest while the other part was moving continually, exactly as it seems to a man in a moving boat that the trees on shore move. In the same way, if a man in the heavens, moved and carried along by their daily motion, could see the earth distinctly and its mountains, valleys, rivers, cities, and castles, it would appear to him that the earth was moving in daily motion, just as to us on earth it seems as though the heavens are moving. Likewise, if the earth moved with daily motion and the heavens were motionless, it would seem to us that the earth was immobile and that the heavens appeared to move; and this can be easily imagined by anyone with clear understanding”.

³⁸³ Ver citação na página 186 deste trabalho.

apenas a Terra estaria em movimento, mas também o ar e a água, de modo que não ocorreria um movimento forte do vento para o leste, já que o ar compartilharia o movimento com a Terra:

Isso obviamente responde à primeira experiência, pois poderíamos dizer que o Sol e as estrelas parecem nascer e se pôr como o fazem, e que os céus parecem girar por causa do movimento da Terra, na qual vivemos junto com os elementos. Para a segunda experiência, a resposta parece [...] ser que, de acordo com essa opinião, não apenas a Terra se move, mas também com ela a água e o ar, como dissemos acima, embora a água e o ar aqui embaixo possam ser movidos adicionalmente pelos ventos ou outras forças. De forma semelhante, se o ar estivesse encerrado em um barco em movimento, pareceria a uma pessoa nesse ar que ele não estava se movendo³⁸⁴ (ORESME, 1968a, p. 523 e 525).

Por fim, em relação à terceira experiência, Oresme diz que uma flecha lançada para o alto dentro de um barco se move juntamente com a parte inferior do ar, que estaria em movimento assim como o restante da parte inferior do mundo (esfera da água e da terra)³⁸⁵, e que por isso cai no ponto em que foi lançada e não longe da embarcação, para o oeste. Oresme acrescenta que os movimentos que ocorrem no interior do barco em movimento parecem ser os mesmos que ocorrem quando ele está parado, de modo que o deslocamento da embarcação em nada influencia a ocorrência desses movimentos. Analogamente, os movimentos na Terra sempre parecem iguais, independentemente de a Terra estar ou não em movimento. Diz Oresme:

Sobre a terceira experiência, que parece mais complicada e que trata do caso de uma flecha ou pedra lançada no ar etc., pode-se dizer que a flecha atirada para cima é movida para o leste muito rapidamente com o ar através do qual ela passa, junto com toda a parte inferior do mundo que nós já definimos e que se movem com movimento diário; por esta razão a flecha cai de volta ao local de onde foi atirada para o ar. Tal coisa poderia ser possível desta forma, pois, se um homem estivesse em um navio movendo-se rapidamente para o leste sem estar ciente do movimento e se ele descesse sua mão em uma linha reta ao longo do mastro do navio, [...] parecer-lhe-ia que sua mão estava se

³⁸⁴ Na tradução em inglês: “This obviously answers the first experience, for we could say that the sun and stars appear to rise and set as they do and that the heavens seem to revolve on account of the motion of the earth in which we live together with the elements. To the second experience, the reply seems [...] to be that, according to this opinion, not only the earth moves, but also with it the water and the air, as we stated above, although the water and air here below may be moved in addition by the winds or other forces. In a similar manner, if the air were closed in on a moving boat, it would seem to a person in that air that it was not moving”.

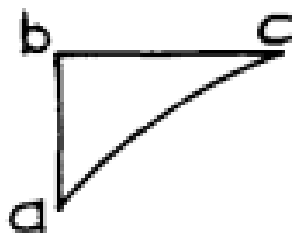
³⁸⁵ Sobre a divisão proposta por Oresme entre a “parte superior” e a “parte inferior” do mundo, ver nota de rodapé nº 381, na página anterior.

movendo com um movimento retilíneo; então, de acordo com esta teoria, parece-nos que a mesma coisa acontece com a flecha, que é atirada direto para baixo ou para cima. No interior do barco movendo-se rapidamente para o leste podem existir todos os tipos de movimentos – horizontais, cruzados, para cima e para baixo em todas as direções – e eles parecem ser exatamente os mesmos que aqueles quando o navio está em repouso. Assim, se um homem neste barco caminhasse em direção ao oeste menos rapidamente do que o barco se movia para o leste, pareceria ao homem que ele estava se aproximando do oeste quando na verdade ele estava indo para o leste; e da mesma forma que no caso anterior, todos os movimentos aqui embaixo pareceriam ser os mesmos como se a Terra estivesse em repouso³⁸⁶ (ORESME, 1968a, p. 525).

Na sequência, Oresme expõe mais detalhadamente a sua ideia de que algo em movimento retilíneo poderia estar também em movimento circular, de modo que se trataria de um *movimento composto*. Assim como o homem que desloca a sua mão rente ao mastro do navio em movimento, realizando uma trajetória retilínea ao longo do mastro, mas também circular ao acompanhar o deslocamento da embarcação, Oresme cita um exemplo natural, de uma porção de fogo em movimento ascendente a partir do ponto A em direção ao ponto B, em uma trajetória inicialmente retilínea. Contudo, o fogo se move na região superior do ar e pela esfera de fogo, regiões que, segundo Oresme (citando Aristóteles), possuem movimento circular. Dessa maneira, o fogo executaria um movimento composto, ascendente em direção a B, que, por sua vez, seria atraído em direção a C por conta do movimento circular dos céus. Assim, ao invés de a trajetória do fogo ser descrita pela linha vertical AB, ela o é pela linha côncava AC, descrevendo um movimento que, a princípio, é retilíneo, mas que se torna circular ascendente, conforme mostra a Figura 33 do *Le Livre du ciel et du monde* (*ibid.*, p. 525), reproduzida a seguir (Figura 7):

³⁸⁶ Na tradução em inglês: “Concerning the third experience, which seems more complicated and which deals with the case of an arrow or stone thrown up into the air, etc., one might say that the arrow shot upward is moved toward the east very rapidly with the air through which it passes, along with all the lower portion of the world which we have already defined and which moves with daily motion; for this reason the arrow falls back to the place from which it was shot into the air. Such a thing could be possible in this way, for, if a man were in a ship moving rapidly eastward without his being aware of the movement and if he drew his hand in a straight line down along the ship’s mast, [...] it would seem to him that his hand were moving with a rectilinear motion; so, according to this theory it seems to us that the same thing happens with the arrow which is shot straight down or straight up. Inside the boat moved rapidly eastward, there can be all kinds of movements – horizontal, criss-cross, upward, downward, in all directions – and they seem to be exactly the same as those when the ship is at rest. Thus, if a man in this boat walked toward the west less rapidly than the boat was moving toward the east, it would seem to the man that he was approaching the west when actually he was going east; and similarly as in the preceding case, all the motions here below would seem to be the same as though the earth rested”.

Figura 7



Nas palavras de Oresme:

Agora, a fim de explicar a resposta à terceira experiência em que esta ilustração artificial foi usada, gostaria de apresentar um exemplo retirado da natureza, que, de acordo com Aristóteles, é verdadeiro. Ele supõe que existe uma porção de fogo puro chamada A na região superior do ar; esse fogo, sendo muito leve, sobe tão alto quanto possível [...] até um lugar chamado B, próximo à superfície côncava dos céus [ver Fig. 33]. Afirmando que, assim como com a flecha acima, o movimento de A neste caso também deve ser composto de movimento retilíneo e, em parte, de movimento circular, porque a região do ar e a esfera de fogo por onde A passou têm, na opinião de Aristóteles, movimento circular [...]. Se elas não fossem movidas assim, A iria em linha reta para cima ao longo da linha AB; mas como B é, enquanto isso, atraído em direção a C por um movimento circular e diário, parece que A descreve a linha AC enquanto ascende e que, portanto, o movimento de A é composto de movimento retilíneo e circular, e o movimento da flecha seria desse tipo de movimento misto ou composto [...]. Concluo, então, que é impossível demonstrar por qualquer experiência que os céus têm movimento diário e que a Terra não tem o mesmo³⁸⁷ (ORESME, 1968a, p. 525 e 527).

O final da passagem acima é uma parte crucial do texto de Oresme, trecho em que ele conclui pela impossibilidade de determinar experimentalmente que os céus se movem e a Terra está estacionária no centro do universo, visão que era amplamente aceita na época. Nesse ponto, Oresme parece considerar tacitamente que a Terra poderia estar, de fato, em movimento diário.

³⁸⁷ Na tradução em inglês: “Now, in order to explain the reply to the third experience in which this artificial illustration was used I should like to present an example taken from nature, which, according to Aristotle, is true. He supposes that there is a portion of pure fire called *a* in the higher region of the air; this fire, being very light, rises as high as possible [...] to a place called *b* near the concave surface of the heavens [see Fig. 33]. I maintain that, just as with the arrow above, the motion of *a* in this case also must be compounded of rectilinear and, in part, of circular motion, because the region of the air and the sphere of fire through which *a* passed have, in Aristotle’s opinion, circular motion [...]. If they were not thus moved, *a* would go straight upward along the line *ab*; but because *b* is meanwhile drawn toward *c* by circular and daily motion, it appears that *a* describes the line *ac* as it ascends and that, therefore, the movement of *a* is compounded of rectilinear and of circular motion, and the movement of the arrow would be of this kind of mixed or compound motion [...]. I conclude, then, that it is impossible to demonstrate by any experience that the heavens have daily motion and that the earth does not have the same”.

4.5 Hipótese do movimento diário da Terra

Prosseguindo com a análise do Capítulo XXV do Livro II do *Le Livre du ciel et du monde*, partindo do ponto em que Oresme afirma a impossibilidade de provar o movimento dos céus e a posição estática da Terra, o filósofo começa a considerar a possibilidade de a Terra possuir um movimento diário. A princípio, Oresme argumenta a favor da imobilidade da Terra, afirmando que as partes que a compõem são dotadas de movimento retilíneo descendente, e que a Terra em sua totalidade não possui um movimento circular natural e nem violento:

Primeiramente, todo corpo simples tem um único movimento simples, e a Terra é um elemento simples que tem, de acordo com suas várias partes, movimento retilíneo natural descendente. Então, ela não pode ter outro movimento, um fato totalmente explicado no Capítulo Quatro do Livro I [...]. O movimento circular não é natural para a Terra, pois ela tem outro movimento, como já mencionado; se o movimento circular fosse violento para ela, a Terra não poderia ser perpétua, como aparece em várias passagens do Livro I [...]. Todo movimento local é relativo a algum corpo em repouso, como afirma Averróis no Capítulo Oito, no qual ele conclui que a Terra deve estar em repouso no centro dos céus. Ora, todo movimento é produzido por algum poder ou força motriz, como mostrado nos Livros Sete e Oito da *Física*, e a Terra não pode [...] mover-se circularmente devido ao seu peso; se ela fosse movida por uma força externa, esse movimento seria violento e não perpétuo³⁸⁸ (ORESME, 1968a, p. 527).

Na sequência, Oresme defende que os céus estão em movimento, advertindo que negar isso significaria opor-se à Bíblia. Por fim, recorre a Aristóteles em sua conclusão pela imobilidade da Terra:

Se, na realidade, os céus não tivessem movimento diurno, toda a astronomia seria falsa, bem como grande parte da filosofia natural, na qual tal movimento é dado como certo. Seria, além disso, contradizer as Sagradas Escrituras, que afirmam: O Sol se levanta, se põe e retorna ao seu lugar; e, nascendo ali novamente, faz o seu percurso para o sul e se inclina novamente para o norte [...]. E também está escrito da terra que Deus a fez imóvel [...]. As Escrituras afirmam que o Sol interrompeu seu curso na época de Josué e retornou no tempo do

³⁸⁸ Na tradução em inglês: “First, every simple body has a single simple motion, and the earth is a simple element which has, according to its various parts, natural rectilinear movement downward. So, it can have no other motion, a fact fully explained in Chapter Four of Book I [...]. Circular motion is not natural to the earth for it has another motion, as already noted; if circular motion is violent to it, the earth could not be perpetual, as appears in several passages of Book I [...]. All local motion is relative to some body at rest, as Averroes states in Chapter Eight, from which he concludes that the earth must be at rest in the center of the heavens. Now, all motion is produced by some motive power or force, as shown in Books Seven and Eight of the *Physics*, and the earth cannot [...] move circularly because of its weight; if it is so moved by an external force, this movement would be violent and not perpetual”.

Rei Ezequias; se, como é postulado nesta teoria, é a Terra que se move e os céus que permanecem imóveis, então essa parada teria sido um retrocesso, o que teria sido mais do que uma parada. E isso é contrário à afirmação das Escrituras. Quanto ao primeiro argumento, onde se afirma que todo corpo simples tem um único movimento simples [...], digo que a Terra, que como um todo é um corpo simples, não tem movimento, de acordo com Aristóteles no Capítulo Vinte e Dois³⁸⁹ (ORESME, 1968a, p. 527).

Após tais considerações, Oresme passa a discutir a possibilidade de que um corpo simples ou elemento do universo (isto é, a terra, água, ar e fogo) possa ter mais de um movimento, sendo um para as suas partes e outro para o todo. Ele toma como exemplo o ar, que dependendo de onde se encontra realiza um movimento retilíneo descendente ou ascendente, embora em sua totalidade (a esfera do ar) realize um movimento circular, assim como os demais elementos do universo, com a exceção do céu estacionário:

Contra a interpretação de alguém que sustenta que Aristóteles quer dizer que este corpo tem um único movimento simples não próprio de si como um todo, mas aplicável apenas às suas partes quando elas estão fora de seu lugar próprio, podemos citar o caso do ar, que se move para baixo quando está na região do fogo e para cima quando está na região da água, ambos sendo movimentos simples. Portanto, podemos dizer, com uma demonstração de razão cada vez maior, que cada corpo simples ou elemento do universo, com a possível exceção do soberano céu, move-se em seu lugar próprio com movimento circular³⁹⁰ (*ibid.*, p. 527 e 529).

Analogamente, Oresme afirma que o fogo também possui esse duplo movimento, retilíneo para as suas partes e circular para o todo. No fim ele acrescenta

³⁸⁹ Na tradução em inglês: “If, in reality, the heavens did not have diurnal motion, all astronomy would be false as well as a large part of natural philosophy throughout which such motion is taken for granted. It would, moreover, contradict Holy Scripture which states: The sun riseth and goeth down and returneth to his place; and there rising again, maketh his round by the south and turneth again to the north [...] And it is also written of the earth that God made it motionless [...]. The Scripture states that the sun stopped its course in Joshua’s time and returned in King Hezekiah’s; if, as is posited in this theory, it is the earth that moves and the heavens that remain motionless, then this stopping would have been a turning backward, which would have been more than a stoppage. And this is contrary to the statement in the Scriptures. As for the first argument where it is stated that every simple body has a single simple [...] motion, I say that the earth, which as a whole is a simple body, has no movement, according to Aristotle in Chapter Twenty-two”.

³⁹⁰ Na tradução em inglês: “Against the interpretation of anyone who maintained that Aristotle means that this body has a single simple motion not proper to itself as a whole, but applying only to its parts when they are out of their proper place, we can cite the case of air which moves downward when it is in the region of fire and upward when it is in the region of water, both being simple movements. Therefore, we can say with an ever greater show of reason that each simple body or element of the universe, with the possible exception of the sovereign heaven, moves in its proper place with circular motion”.

que, na verdade, o que se está analisando não é o movimento do fogo, mas sim o da Terra:

Ao segundo argumento³⁹¹, digo que o movimento é natural à Terra como um todo e em seu lugar; contudo, suas partes têm um movimento natural diferente, retilíneo ascendente e descendente, quando estão fora de seu lugar natural [...]. De acordo com Aristóteles, devemos admitir o mesmo em relação ao fogo, partes do qual se movem naturalmente para cima quando fora de seu lugar próprio, e além disso, também de acordo com ele, todo o elemento fogo em sua esfera e em seu lugar move-se perpetuamente com movimento diurno, o que não poderia ser uma afirmação verdadeira se seu movimento fosse violento. Ora, na teoria que estamos a discutir não é o elemento fogo, mas a Terra que se move dessa maneira³⁹² (ORESME, 1968a, p. 529).

Oresme recusa o argumento segundo o qual um movimento só ocorre caso um corpo esteja em repouso, ponderando que, para existir, basta que tal deslocamento seja perceptível a um observador. Com essa observação, o filósofo possibilita admitir não apenas o movimento celeste, mas também o da Terra. Ele diz que os céus e a Terra poderiam ter trajetórias contrárias, sendo que os céus não precisariam da existência da Terra para estar em movimento, pois se esta fosse destruída, o movimento celeste persistiria. Ou seja, o movimento ou repouso da Terra são irrelevantes para o movimento dos céus. Nas palavras de Oresme:

Discordo do terceiro argumento³⁹³, que afirma que todo movimento requer que algum corpo esteja em repouso, a menos que o movimento deva ser perceptível aos sentidos; para tornar tal movimento aparente, bastaria que o primeiro corpo se movesse de maneira diferente. Mas não é necessário que exista um segundo corpo [...] para que deva existir esse movimento, como foi explicado no Capítulo Oito [...]. Supondo que os céus tenham movimento diurno e que a Terra se mova na direção oposta, ou imaginando mesmo que a Terra fosse aniquilada, notaríamos que os céus não parariam de se mover por esta razão; nem se moveriam mais rápido ou mais devagar, porque nem a inteligência que move os céus nem o corpo em movimento dos céus como um todo estariam dispostos a fazer de outra forma. [...] Assim,

³⁹¹ Isto é, o argumento segundo o qual o movimento circular não é natural para a Terra (ORESME, 1968a, p. 527). Ver primeira passagem da página 192 deste trabalho.

³⁹² Na tradução em inglês: “To the second argument, I say the motion is natural to the earth as a whole and in its place; however, its parts have a different natural motion, rectilinear upward and downward, when they are out of their natural place [...]. According to Aristotle, we must admit the same with respect to fire, parts of which move naturally upward when out of their proper place, and besides, also according to him, the entire element of fire in its sphere and in its place moves perpetually with diurnal motion, which could not be a true statement if its movement were violent. Now, in the theory we are discussing, it is not the element of fire, but the earth that moves in this manner”.

³⁹³ ORESME, 1968a, p. 527, já citado (primeira passagem da página 192).

pode-se dizer que o céu soberano repousa ou se move de forma diferente do movimento dos outros corpos porque seu movimento requer a existência dos outros movimentos ou requer que eles sejam perceptíveis aos sentidos³⁹⁴ (ORESME, 1968a, p. 529).

Oresme também se pronuncia a respeito do argumento segundo o qual a imobilidade dos céus implicaria na falsidade da astronomia, defendendo que tal conclusão é equivocada. Segundo o filósofo, se os céus estivessem imóveis, todos os fenômenos celestes descritos pela astronomia continuariam sendo verdadeiros, tendo como único detalhe o fato de que, para os observadores na Terra, pareceria que o céu estacionário estaria em movimento, quando na verdade a Terra é que se moveria. Oresme conclui, então, que os efeitos observados permaneceriam inalterados se a Terra estivesse em movimento e os céus estáticos, e vice-versa:

Digo, para o quinto argumento, onde se mantém que, se os céus não realizassem uma rotação diariamente, toda a astronomia seria falsa, que tal afirmação não é verdadeira, porque todos os aspectos celestes, conjunções, oposições, constelações, [...] figuras e influências seriam exatamente como são em todos os aspectos [...]; e as tabelas astronômicas dos movimentos celestes e todos os outros livros permaneceriam tão verdadeiros quanto são atualmente, exceto que, em relação ao movimento diurno, diríamos que ele está *aparentemente* nos céus, mas, *na verdade*, na Terra; nenhum outro efeito seguir-se-ia ou resultaria de uma teoria mais do que da outra³⁹⁵ (*ibid.*, p. 531, grifos do tradutor em inglês).

Em seguida, Oresme busca solucionar o problema da aparente incompatibilidade entre a teoria do movimento terrestre e as passagens bíblicas, afirmando que estas não devem ser lidas de modo literal, mas de modo figurado. Nesse ponto, Oresme defende mais enfaticamente a tese do movimento da Terra, ao assegurar que tal visão não

³⁹⁴ Na tradução em inglês: “I say no to the third argument which states that all motion requires some body to be at rest, unless the motion must be perceptible to the senses; to make such motion apparent, it would suffice that the first body be moved in a different manner. But it is not required that there be a second body [...] in order that this motion should exist, as was explained in Chapter Eight [...]. Assuming that the heavens have diurnal movement and that the earth is moving in the opposite direction or imagining even that the earth were annihilated, we would note that the heavens had not stopped moving on this account; nor would they move faster or more slowly because neither the intelligence which moves the heavens nor the moving body of the heavens as a whole would be disposed to do otherwise. [...] Thus, it could be said that the sovereign heaven rests or moves differently from the motion of the other bodies because its movement requires the existence of the other motions or requires that they be perceptible to the senses”.

³⁹⁵ Na tradução em inglês: “I say to the fifth argument, where it is held that, if the heavens did not make a rotation from day to day, the whole of astronomy would be false, that such a statement is not true, because all heavenly aspects, conjunctions, oppositions, constellations, [...] figures, and influences would be exactly as they are in every respect [...]; and the astronomical tables of the heavenly motions and all other books would remain as true as they are at present, save that, with respect to diurnal motion, one would say that it is *apparently* in the heavens, but *actually* in the earth; no other effect would follow or result from one theory more than from the other”.

contradiz a Bíblia. Assim, segundo Oresme, os céus *parecem* estar em movimento, quando na verdade é a Terra que gira:

Alguém poderia responder ao sexto argumento, que diz respeito à referência nas Sagradas Escrituras sobre a rotação do sol etc., dizendo que esta passagem está em conformidade com o uso habitual da linguagem popular, tal como acontece em muitos outros lugares, por exemplo, naqueles onde está escrito que Deus se arrependeu, que Ele ficou zangado e [...] que se apaziguou, e outras expressões semelhantes que não devem ser tomadas literalmente. [...] Assim, poderíamos dizer que os céus, e não a Terra, parecem se mover com movimento diurno, enquanto a verdade é exatamente o oposto. E poderíamos dizer que, na realidade, a Terra não se move de seu lugar, nem aparentemente dentro de seu lugar, mas *realmente* se move dentro de seu lugar³⁹⁶ (ORESME, 1968a, p. 531, grifo meu).

Ou seja, segundo Oresme, a rotação da Terra não é aparente, mas ocorre de fato. Ainda buscando compatibilizar os textos bíblicos com a hipótese do movimento da Terra, Oresme afirma que, na verdade, foi a Terra que parou de se mover nos tempos de Josué, e não o Sol, acrescentando que, qualquer que seja o caso, o efeito permanece igual, isto é, o Sol estático no meio dos céus³⁹⁷, independentemente de o Sol ou a Terra estarem em movimento. Diz o filósofo:

Ao sétimo argumento, poderíamos responder da mesma maneira que, no tempo de Josué, o Sol parou e que na época de Ezequias voltou [a se mover], mas apenas aparentemente assim; pois, na verdade, foi a Terra que parou de se mover no tempo de Josué, e que mais tarde, no tempo de Ezequias, avançou ou acelerou seu movimento; seja qual for o evento em que preferamos acreditar, o efeito seria o mesmo. A última opinião parece mais razoável do que a primeira, como se tornará claro mais adiante³⁹⁸ (*ibid.*, p. 531).

De fato, a partir deste ponto, Oresme torna-se mais incisivo no tocante à defesa da rotação terrestre, apresentando alguns motivos pelos quais é mais razoável supor que

³⁹⁶ Na tradução em inglês: “One could answer the sixth argument, which concerns the reference in Holy Scripture about the sun’s turning, etc., by saying that this passage conforms to the customary usage of popular speech just as it does in many other places, for instance, in those where it is written that God repented, and He became angry and [...] became pacified, and other such expressions which are not to be taken literally. [...] Thus, we could say that the heavens, rather than the earth, appear to move with diurnal motion, while the truth is the exact opposite. And we could say that, in reality, the earth does not move from its place, nor apparently within its place, but it does actually move within its place”.

³⁹⁷ Conforme o relato bíblico, que Oresme toma como verdadeiro.

³⁹⁸ Na tradução em inglês: “To the seventh argument, we could reply in much the same manner that in the time of Joshua the sun stopped and that in the time of Hezekiah it returned, but only apparently so; for, in fact, it was the earth which stopped moving in Joshua’s time and which later in Hezekiah’s time advanced or speeded up its movement; whichever occurrence we prefer to believe, the effect would be the same. The latter opinion seems more reasonable than the former, as we shall make clear later”.

a Terra esteja em movimento, e não o Sol. A princípio, Oresme argumenta que aquilo que necessita de outra coisa para a sua existência deve estar em movimento para receber o bem de que necessita. Assim, os elementos, que buscam o seu lugar natural, devem se mover até ele, e não o contrário. Do mesmo modo, como a Terra necessita do calor solar, ela deve estar em movimento para adquirir esse calor, assim como a carne gira em torno do fogo para ser assada, e não o fogo ao redor da carne. Nas palavras de Oresme:

[...] quero apresentar algumas opiniões ou razões [...] favoráveis à teoria de que a Terra se move como afirmamos. Em primeiro lugar, tudo o que requer outra coisa para sua existência natural deve visar receber o bem que deriva da outra através do movimento ou ação que lhe é natural. Dessa forma, podemos ver que cada elemento se move para o seu lugar natural onde é conservado, e que vai para o seu lugar, em vez de o seu lugar vir até ele. Assim, a Terra e os elementos aqui embaixo, que requerem o calor e a influência dos céus ao seu redor, devem necessariamente estar dispostos por seus movimentos a receber esses benefícios na devida medida, assim como, para falar familiarmente, a carne sendo assada diante do fogo recebe ao seu redor o calor do fogo ao ser girada, e não pelo giro do fogo ao redor da carne³⁹⁹ (ORESME, 1968a, p. 531 e 533).

Um pouco mais à frente, Oresme defende que, caso se possa salvar as aparências pressupondo o movimento da Terra e não o do Sol no episódio bíblico de Josué, tal hipótese seria mais razoável. Como Oresme supõe que as aparências podem ser salvas dessa maneira⁴⁰⁰, ele admite o movimento terrestre, ao tempo em que nega a possibilidade de que a experiência possa provar o movimento dos céus:

Portanto, se pudermos salvar as aparências tomando como certo que Deus prolongou o dia na época de Josué, interrompendo o movimento da Terra ou apenas da região aqui embaixo – que é tão pequena e como um mero ponto comparada aos céus – e sustentando que nada em todo o universo – e especialmente os enormes corpos celestes – exceto este pequeno ponto foi desviado de seu curso normal e cronograma regular, então esta seria uma suposição muito mais razoável. E as aparências podem ser salvas desta forma, como está evidente pela resposta ao sétimo argumento [...]. O mesmo poderia ser dito no que diz respeito ao retorno do Sol no tempo de Ezequias.

³⁹⁹ Na tradução em inglês: “[...] I want to present several opinions or reasons [...] favorable to the theory that the earth moves as we have stated. In the first place, everything that requires another thing for its natural existence must aim at receiving the good it derives from the other through the motion or action natural to it. In this way we can see that each element moves to its natural place where it is conserved and that it goes to its place rather than its place coming to it. Thus the earth and the elements here below which require the heat and influence of the heavens round about them must needs be disposed by their movements to receive these benefits in due degree, just as, to speak familiarly, the meat being roasted before the fire receives around it the heat of the fire by being turned and not by the turning of the fire around the meat”.

⁴⁰⁰ Ver a resposta ao sétimo argumento na página anterior, na última passagem destacada.

Assim, é evidente que não se pode demonstrar por nenhuma experiência, qualquer que seja, que os céus se movem com movimento diurno⁴⁰¹ (ORESME, 1968a, p. 537).

Na sequência, Oresme traz à tona novamente a questão da relatividade do movimento, ou seja, a constatação de que a percepção do deslocamento depende da posição na qual o observador se encontra. Assim, um observador nos céus veria o movimento terrestre, independentemente de a Terra ou os céus estarem em movimento ou em repouso. Da mesma forma, se o observador estiver na Terra, a sua visão será dos céus se movendo, estejam eles em movimento ou não. Com isso, Oresme salva os fenômenos sem abdicar da tese da rotação terrestre, porque permite afirmar que mesmo que estejamos vendo o movimento celeste devido ao fato de estarmos na Terra, seria possível que esta esteja em movimento enquanto os céus permaneceriam estáticos. Segundo o filósofo, o julgamento acerca do quê está em movimento depende dos sentidos daquele que percebe um movimento em relação a si, o que está sujeito a erros, como no caso do homem no navio em movimento, que pensa ver coisas como árvores se movendo, quando na verdade ele é que está se deslocando a bordo da embarcação. Diz Oresme:

[...] seja qual for o fato, supondo que os céus se movam e a Terra não, ou que a Terra se mova e [...] os céus não, para um olho nos céus que pudesse ver a terra claramente, ela pareceria se mover; se o olho estivesse na Terra, os céus pareceriam se mover. Nem a visão desse olho seria enganada, pois ele nada pode sentir ou ver senão o próprio processo do movimento. Mas se o movimento for relativo a algum corpo ou objeto particular, esse julgamento é feito pelos sentidos de dentro desse corpo específico, como Vitello explica em *A Perspectiva*; e os sentidos são frequentemente enganados nesses casos, como foi relatado acima no exemplo do homem no navio em movimento. Posteriormente, demonstrou-se como não se pode provar conclusivamente por meio de argumentos que os céus se movem⁴⁰² (*ibid.*, p. 537).

⁴⁰¹ Na tradução em inglês: “Therefore, if we can save appearances by taking for granted that God lengthened the day in Joshua’s time by stopping the movement of the earth or merely that of the region here below – which is so very small and like a mere dot compared to the heavens – and by maintaining that nothing in the whole universe – and especially the huge heavenly bodies – except this little point was put off its ordinary course and regular schedule, then this would be a much more reasonable assumption. And appearances can be saved in this way, as is evident from the reply to the seventh argument [...]. As much could be said with regard to the return of the sun in Hezekiah’s time. Thus, it is apparent that one cannot demonstrate by any experience whatever that the heavens move with diurnal motion”.

⁴⁰² Na tradução em inglês: “[...] whatever the fact may be, assuming that the heavens move and the earth does not or that the earth moves and [...] the heavens do not, to an eye in the heavens which could see the earth clearly, it would appear to move; if the eye were on the earth, the heavens would appear to move. Nor would the vision of this eye be deceived, for it can sense or see nothing but the process of the movement itself. But if the motion is relative to some particular body or object, this judgment is made by

Contudo, no final do capítulo, Oresme se compromete com a visão tradicional da época, afirmando acreditar que os céus estão em movimento ao invés da Terra, por ter sido essa a escolha de Deus ao criar o mundo⁴⁰³. Não obstante, Oresme pontua haver razões contrárias à crença da mobilidade celeste, mas que não são conclusivas, o que abriria espaço para afirmar a tese oposta, isto é, a rotação terrestre. O filósofo encerra a discussão defendendo que a hipótese do movimento da Terra é contrária à razão natural, caracterizando a discussão precedente como mera “distração” ou “exercício intelectual”:

Em terceiro lugar, oferecemos argumentos contrários ao seu [dos céus] movimento diurno. No entanto, todos sustentam, e eu penso também, que os céus se movem e não a Terra: Pois Deus estabeleceu o mundo que não será movido, apesar de razões contrárias, porque elas claramente não são persuasões conclusivas. Contudo, após considerar tudo o que foi dito, alguém poderia então acreditar que a Terra se move e não os céus, pois o oposto não é claramente evidente. Não obstante, à primeira vista, [...] isso parece tão contrário à razão natural quanto, ou mais contrário à razão natural do que todos ou muitos dos artigos da nossa fé. O que eu disse, à guisa de distração ou exercício intelectual pode, desta forma, servir como um meio valioso de refutar e controlar aqueles que gostariam de impugnar a nossa fé por meio de argumentos⁴⁰⁴ (ORESME, 1968a, p. 537 e 539).

4.6 A prova geométrica do teorema da velocidade média

Dentre as obras de Nicole Oresme, o *Tractatus de configurationibus qualitatuum et motuum*⁴⁰⁵, referido pelo tradutor Marshall Clagett de forma abreviada como *De configurationibus*, é um trabalho no qual Oresme buscou “elaborar um sistema para representar geometricamente as intensidades das qualidades e as velocidades dos movimentos e, assim, interpretar a estrutura interna da matéria e explicar os

the senses from within that particular body, as Witelo explains in *The Perspective*; and the senses are often deceived in such cases, as was related above in the example of the man on the moving ship. Afterward, it was demonstrated how it cannot be proved conclusively by argument that the heavens move”.

⁴⁰³ Segundo Weinberg (2015, p. 179), não se sabe “se Oresme realmente não queria dar o último passo para reconhecer que a Terra gira ou se estava apenas simulando obediência à ortodoxia religiosa”.

⁴⁰⁴ Na tradução em inglês: “In the third place, we offered arguments opposing their diurnal motion. However, everyone maintains, and I think myself, that the heavens do move and not the earth: For God hath established the world which shall not be moved, in spite of contrary reasons because they are clearly not conclusive persuasions. However, after considering all that has been said, one could then believe that the earth moves and not the heavens, for the opposite is not clearly evident. Nevertheless, at first sight, [...] this seems as much against natural reason as, or more against natural reason than, all or many of the articles of our faith. What I have said by way of diversion or intellectual exercise can in this manner serve as a valuable means of refuting and checking those who would like to impugn our faith by argument”.

⁴⁰⁵ Traduzido para o inglês como “Treatise on the Configuration of Qualities and Motions”.

fenômenos”⁴⁰⁶ (CLAGETT, 1968b, p. ix). De fato, é nessa obra que contém a representação geométrica do *teorema da velocidade média*, elaborado por William Heytesbury⁴⁰⁷, um dos calculadores do Merton College. Segundo Lindberg, um franciscano chamado Giovanni di Casali foi um dos pioneiros no desenvolvimento de tal representação geométrica, mas Oresme o fez de modo muito mais elaborado:

As notícias das conquistas do Merton College na análise das qualidades foram rapidamente transmitidas a outros centros intelectuais europeus. Nesse processo, a análise foi enriquecida e esclarecida pelo desenvolvimento da representação geométrica. A análise original das qualidades no Merton College foi realizada verbalmente [...]. No entanto, as vantagens da análise geométrica foram reconhecidas, e sistemas de representação geométrica bastante elaborados foram eventualmente desenvolvidos. Um dos primeiros a desenvolver tal sistema foi Giovanni di Casali, um franciscano de Bolonha (que também havia passado um tempo em Cambridge), escrevendo por volta de 1351; uma análise geométrica muito mais elaborada foi formulada por Nicole Oresme (falecido em 1382) na Universidade de Paris, mais tarde na mesma década⁴⁰⁸ (LINDBERG, 2007, p. 301).

Oresme realiza a demonstração geométrica do teorema no Capítulo VII da Parte III do *De configurationibus*, intitulado “Sobre a medida das qualidades e velocidades disformes”⁴⁰⁹, iniciando o capítulo com um enunciado correspondente ao do teorema da velocidade média. Oresme diz que toda qualidade uniformemente disforme, isto é, uniformemente diferente, possui a mesma quantidade que teria caso a qualidade fosse uniforme, de acordo com o grau médio alcançado por essa qualidade uniformemente disforme (que corresponde à quantidade constante da qualidade uniforme). Interpretando esse enunciado no contexto da velocidade média, isso equivale a dizer que um corpo em movimento uniformemente disforme (isto é, em movimento

⁴⁰⁶ No original: “to devise a system to represent geometrically intensities of qualities and velocities of motions and thereby to interpret the internal structure of matter and to explain phenomena”.

⁴⁰⁷ Ver páginas 150 a 153. Conforme Clagett (1961, p. 262), citado na página 150, Heytesbury não provou geometricamente o teorema.

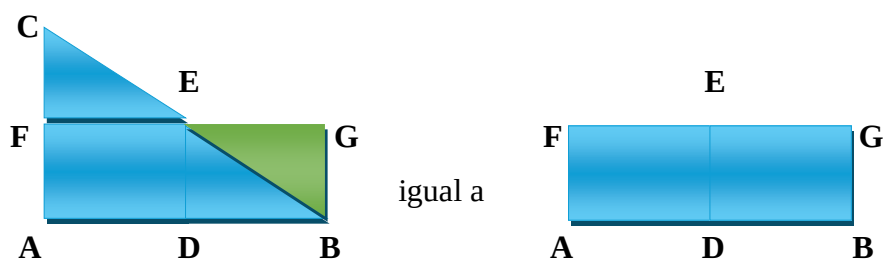
⁴⁰⁸ No original: “News of the Merton College achievements in the analysis of qualities was transmitted quickly to other European intellectual centers. In the process, the analysis was enriched and clarified by the development of geometrical representation. The original analysis of qualities at Merton College was carried out verbally [...]. However, the advantages of geometrical analysis were recognized, and fairly elaborate systems of geometrical representation were eventually worked out. One of the first to develop such a system was Giovanni di Casali, a Franciscan from Bologna (who had also spent time in Cambridge), writing about 1351; a far more elaborate geometrical analysis was formulated by Nicole Oresme (d. 1382) at the University of Paris later in the same decade”.

⁴⁰⁹ Na tradução em inglês: “On the measure of difform qualities and velocities”.

uniformemente acelerado, que adquire quantidades iguais de velocidade em tempos iguais) percorre a mesma distância que percorreria caso tivesse uma velocidade constante igual à metade da velocidade máxima apresentada no movimento uniformemente acelerado, desde que tal velocidade seja linear. Nas palavras de Oresme:

Toda qualidade, se for uniformemente disforme, tem a mesma quantidade que teria a qualidade do mesmo ou igual sujeito que seja uniforme, de acordo com o grau do ponto médio do mesmo sujeito. Entendo que isso se mantém se a qualidade for linear. Se for uma qualidade de superfície, [então sua quantidade é igual à de uma qualidade do mesmo sujeito que seja uniforme] de acordo com o grau da linha média; se corpórea, de acordo com o grau da superfície média, sempre entendendo [esses conceitos] de maneira conformável. Isso será demonstrado primeiro para uma qualidade linear⁴¹⁰ (ORESME, 1968b, p. 409).

Em seguida, Oresme apresenta a demonstração geométrica do enunciado, supondo que determinada qualidade uniformemente disforme seja representada pelo triângulo ABC, iniciando em grau máximo no ponto C e terminando em nenhum grau no ponto B, sendo D o ponto médio da linha AB. A partir de D, traça-se uma linha vertical até o ponto médio da linha diagonal CB, o ponto E, que representa o grau médio da qualidade uniformemente disforme e o grau constante da qualidade uniforme. Assim, a qualidade uniforme é representada pelo retângulo AFGB, enquanto a qualidade uniformemente disforme é representada pelo triângulo BAC. Dado que os triângulos menores EFC e EGB são iguais, então o retângulo AFGB e o triângulo BAC possuem áreas iguais, de modo que a qualidade uniformemente disforme e a qualidade uniforme são equivalentes:

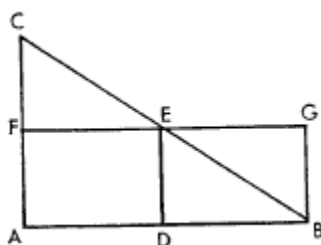


⁴¹⁰ Na tradução em inglês: "Every quality, if it is uniformly difform, is of the same quantity as would be the quality of the same or equal subject that is uniform according to the degree of the middle point of the same subject. I understand this to hold if the quality is linear. If it is a surface quality, [then its quantity is equal to that of a quality of the same subject which is uniform] according to the degree of the middle line; if corporeal, according to the degree of the middle surface, always understanding [these concepts] in a conformable way. This will be demonstrated first for a linear quality".

Diz Oresme:

Portanto, que haja uma qualidade imaginável por $\triangle ABC$, sendo a qualidade uniformemente disforme e terminada em nenhum grau no ponto B [ver Fig. 21(a)]. E seja D o ponto médio da linha em questão. O grau desse ponto, ou sua intensidade, é imaginado pela linha DE . Portanto, a qualidade que seria uniforme ao longo de toda a linha em questão, no grau DE , é imaginável pelo retângulo $AFGB$, como é evidente no décimo capítulo da primeira parte. Portanto, é evidente pela 26ª [proposição] do [Livro] I [dos *Elementos*] de Euclides que os dois pequenos triângulos EFC e EGB são iguais. Portanto, o [triângulo] maior $\triangle BAC$, que designa a qualidade uniformemente disforme, e o retângulo $AFGB$, que designa a qualidade uniforme no grau do ponto médio, são iguais. Portanto, as qualidades imagináveis por um triângulo e um retângulo desse tipo são iguais. E isto é o que foi proposto⁴¹¹ (ORESME, 1968b, p. 409 e 411).

Figura 8

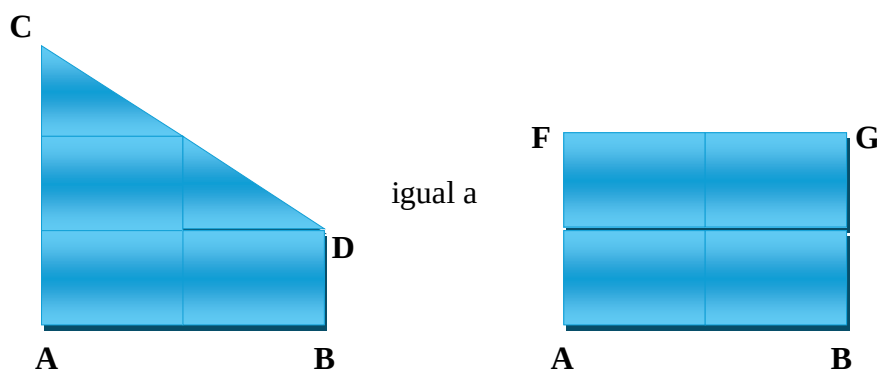


[Fig. 21 (a) do *De configurationibus*, p. 409]

Na sequência, Oresme imagina o acréscimo do retângulo AEDB ao triângulo BAC (que representa a qualidade uniformemente disforme) e ao retângulo AFGB (que representa a qualidade uniforme). Assim, o triângulo BAC transforma-se no quadrilátero ABCD e o retângulo AFGB passa a ser o quadrado AFGB⁴¹², ambos dobrando de tamanho. Oresme mostra que o quadrilátero ABCD (ou ACDB) e o quadrado AFGB designam áreas iguais. Logo, as qualidades representadas por essas formas geométricas são iguais:

⁴¹¹ Na tradução em inglês: “Hence let there be a quality imaginable by $\triangle ABC$, the quality being uniformly difform and terminated at no degree in point B [see Fig. 21(a)]. And let D be the middle point of the subject line. The degree of this point, or its intensity, is imagined by line DE . Therefore, the quality which would be uniform throughout the whole subject at degree DE is imaginable by rectangle $AFGB$, as is evident by the tenth chapter of the first part. Therefore, it is evident by the 26th [proposition] of [Book] I [of the *Elements*] of Euclid that the two small triangles EFC and EGB are equal. Therefore, the larger $\triangle BAC$, which designates the uniformly difform quality, and the rectangle $AFGB$, which designates the quality uniform in the degree of the middle point, are equal. Therefore the qualities imaginable by a triangle and a rectangle of this kind are equal. And this is what has been proposed”.

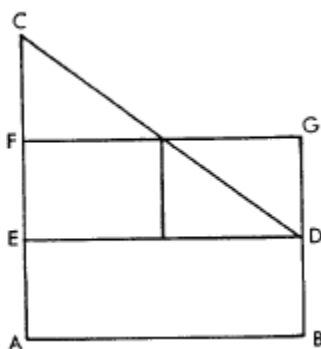
⁴¹² As letras que representam o retângulo anterior AFGB são as mesmas que representam o quadrado AFGB porque a ordem das letras da Figura 21 (a) e Figura 21 (b) é diferente. O quadrado AFGB tem o dobro do tamanho do retângulo AFGB.



Assim explica Oresme:

Da mesma forma, pode-se argumentar, para uma qualidade uniformemente disforme, terminada em ambos os extremos em um certo grau, como seria a qualidade imaginável pelo quadrilátero $ABCD$ [ver Fig. 21(b)]. Pois vamos desenhar a linha DE paralela à base do sujeito, e $\triangle CED$ seria formado. Então vamos desenhar a linha FG através do grau do ponto médio, que é igual e paralelo à base do sujeito. Além disso, seja desenhada a linha GD . Então, como antes, será provado que $\triangle CED = \square EFGD$. Portanto, com a adição do retângulo comum $AEDB$ para ambos, as duas áreas totais são iguais, ou seja, o quadrilátero $ACDB$, que designa a qualidade uniformemente disforme, e o retângulo $AFGB$, que designaria a qualidade uniforme no grau do ponto médio do sujeito AB . Portanto, pelo capítulo dez da primeira parte, as qualidades designáveis por quadriláteros desse tipo são iguais⁴¹³ (ORESME, 1968b, p. 411).

Figura 9

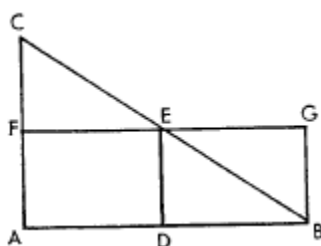


[Fig. 21 (b) do *De configurationibus*, p. 409]

⁴¹³ Na tradução em inglês: “In the same way it can be argued for a quality uniformly difform terminated in both extremes at a certain degree, as would be the quality imaginable by quadrangle $ABCD$ [see Fig. 21(b)]. For let line DE be drawn parallel to the subject base and $\triangle CED$ would be formed. Then let line FG be drawn through the degree of the middle point which is equal and parallel to the subject base. Also, let line GD be drawn. Then, as before, it will be proved that $\triangle CED = \square EFGD$. Therefore, with the common rectangle $AEDB$ added to both of them, the two total areas are equal, namely quadrangle $ACDB$, which designates the uniformly difform quality, and the rectangle $AFGB$, which would designate the quality uniform at the degree of the middle point of the subject AB . Therefore, by chapter ten of the first part, the qualities designatable by quadrangles of this kind are equal”.

Após a demonstração geométrica precedente, Oresme aplica tal raciocínio para a mensuração de velocidades, identificando a “qualidade” sobre a qual falava com as velocidades uniforme (com aceleração nula) e uniformemente disforme (com a aceleração variando uniformemente)⁴¹⁴. Tal correspondência é possível tomando-se o ponto médio como o instante médio do tempo de deslocamento. Ou seja, trocando-se a palavra “qualidade” por “velocidade” na demonstração anterior, e considerando que as figuras representam a quantificação da velocidade em função do tempo, tem-se, portanto, a prova geométrica do teorema da velocidade média, do seguinte modo:

Figura 10



[Fig. 21 (a) do *De configurationibus*, p. 409]

Na figura, o triângulo CAB representaria a velocidade uniformemente disforme, enquanto o retângulo FAGB representaria a velocidade uniforme. O ponto médio de ambas consiste no ponto E, ponto que representa a metade da velocidade uniformemente disforme e a velocidade uniforme (que é constante). Como demonstrado por Oresme, o triângulo CAB e o retângulo FAGB têm áreas equivalentes, de modo que é possível enunciar que o corpo que se move com velocidade disforme percorrerá a mesma distância do que um corpo em velocidade uniforme, desde que esse último se mova com a metade da velocidade máxima alcançada pelo corpo em movimento uniformemente disforme. Assim, Oresme prova geometricamente a regra da velocidade média elaborada por Heytesbury. Oresme associa “qualidades” e “velocidades” nos seguintes termos:

Pode-se argumentar da mesma forma sobre uma qualidade superficial e também quanto a uma qualidade corpórea. Agora, deve-se falar de velocidade inteiramente da mesma forma como da qualidade linear, desde que o instante médio do tempo medindo uma velocidade desse tipo seja tomado no lugar do ponto médio [do sujeito]. Assim, fica claro a qual qualidade ou velocidade uniforme uma qualidade ou velocidade uniformemente disforme é equiparada. Além disso, a razão

⁴¹⁴ Oresme não utiliza a palavra “aceleração”, que foi aqui empregada para clarificar melhor os termos.

entre qualidades e velocidades uniformemente disformes é como a razão entre as qualidades ou velocidades simplesmente uniformes às quais elas são equiparadas⁴¹⁵ (ORESME, 1968b, p. 411).

Oresme conclui o capítulo afirmando que as velocidades disformemente disformes (ou seja, aquelas cuja aceleração não é uniforme) podem ser medidas por suas partes uniformes ou disformes, no caso de a velocidade ser descrita de maneira linear. Entretanto, caso essa velocidade seja descrita por meio de uma curva, Oresme entende ser necessário mensurá-la por meio da mensuração mútua de figuras curvas, ou por meio da mensuração de figuras curvas com figuras retilíneas. Contudo, Oresme encerra o capítulo sem desenvolver tal argumentação, dizendo tratar-se de outro tipo de especulação:

Além disso, se uma qualidade ou velocidade for disformemente disforme, e se for composta de partes uniformes ou uniformemente disformes, ela pode ser medida por suas partes, cuja medida já foi discutida anteriormente. Agora, se a qualidade for disforme de alguma outra forma, por exemplo, com a disformidade designada por uma curva, então é necessário recorrer à mensuração mútua das figuras curvas, ou à [mensuração] dessas [figuras curvas] com figuras retilíneas; e isso é outro tipo de especulação. Portanto, o que foi exposto é suficiente⁴¹⁶ (*ibid.*, p. 411).

4.7 Comparação entre qualidades uniformes e disformes

A obra matemática de Oresme não se limita ao *De configurationibus*, abarcando também textos como as *Questiones super geometriam Euclidis*, ou “Questões sobre a Geometria de Euclides”, traduzidas por Marshall Clagett em forma de Apêndice ao *De configurationibus*. Dentre essas Questões, a Questão 14 trata de saber se pode haver uma igualdade entre uma qualidade uniforme ou uniformemente disforme e outra qualidade disforme. Inicialmente, Oresme nega tal possibilidade, dizendo que

⁴¹⁵ Na tradução em inglês: “It can be argued in the same way regarding a surface quality and also regarding a corporeal quality. Now one should speak of velocity in completely the same fashion as linear quality, so long as the middle instant of the time measuring a velocity of this kind is taken in place of the middle point [of the subject]. And so it is clear to which uniform quality or velocity a quality or velocity uniformly difform is equated. Moreover, the ratio of uniformly difform qualities and velocities is as the ratio of the simply uniform qualities or velocities to which they are equated”.

⁴¹⁶ Na tradução em inglês: “Further, if a quality or velocity is difformly difform, and if it is composed of uniform or uniformly difform parts, it can be measured by its parts, whose measure has been discussed before. Now, if the quality is difform in some other way, e.g. with the difformity designated by a curve, then it is necessary to have recourse to the mutual mensuration of the curved figures, or to [the mensuration of] these [curved figures] with rectilinear figures; and this is another kind of speculation. Therefore what has been stated is sufficient”.

qualidades descritas por um semicírculo não são comparáveis a qualidades descritas por um quadrado, por serem de naturezas diferentes, algo que justificaria a afirmação, no Livro VII da *Física*, de que não é possível comparar os movimentos circular e retilíneo. Contudo, Oresme defende a tese oposta, de que existe uma proporção e, logo, uma igualdade entre as qualidades (como, por exemplo, a brancura). Diz Oresme:

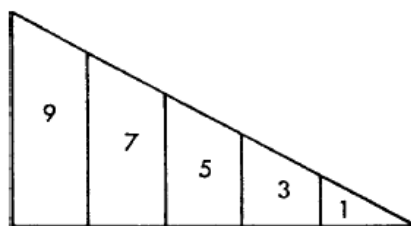
Consequentemente, busca-se [saber] se poderia haver alguma qualidade uniforme ou uniformemente disforme igual a qualquer qualidade, por mais disforme [que seja]. E argumenta-se negativamente, pois, como já foi dito, alguma qualidade é imaginada como um semicírculo e outra como um quadrado, e estas não são iguais, já que são de naturezas diversas. Daí, por essa razão, diz-se no [Livro] VII da *Física* que o movimento circular e o movimento retilíneo não são comparáveis. Argumenta-se o oposto. Toda brancura é da mesma natureza que outra [brancura], portanto, existe uma proporção entre elas; por conseguinte, pode haver igualdade entre elas⁴¹⁷ (ORESME, 1968b, p. 561).

A princípio, Oresme propõe-se a analisar a uniformidade disforme em relação a uma quantidade discreta⁴¹⁸, ou seja, que considera apenas números contáveis e inteiros (1, 2, 3, etc.), e não números fracionários ou decimais (como $\frac{1}{2}$, 1,5, etc.). Logo de partida, Oresme já enuncia uma conclusão, a de que toda qualidade uniformemente disforme é designada pelo quadrado do número de partes, desde que essas partes sejam iguais. Em seguida, o filósofo fornece um exemplo, por meio de um sujeito dividido em 5 partes, de modo que sua qualidade é equivalente ao quadrado desse número, ou seja, 25. Tal ideia encontra-se representada pela Figura 17 das *Questiones* (Figura 11), que mostra um triângulo-retângulo dividido em cinco partes iguais (considerando-se como “partes iguais” a medida da base de cada uma das cinco divisões, que são iguais, e não o tamanho total de cada divisão), cuja soma total das partes equivale ao número 25 (1 + 3 + 5 + 7 + 9):

⁴¹⁷ Na tradução em inglês: “Consequently it is sought whether there could be some uniform or uniformly difform quality equal to any quality however much difform. And it is argued in the negative, for, as has been stated before, some quality is imagined as a semicircle and another as a square and these are not equal since they are of diverse natures. Whence, for this reason, it is said in [Book] VII of the *Physics* that circular motion and rectilinear motion are not comparable. The opposite is argued. Every whiteness is of the same nature as another [whiteness], hence there is a ratio there; therefore, there can be equality there”.

⁴¹⁸ No original em latim, *quantitatem discretam* (ORESME, 1968b, p. 560, linhas 9-10).

Figura 11

[Fig. 17 das *Questiones*, p. 563]

Nas palavras de Oresme:

Em primeiro lugar, devemos considerar a uniformidade disforme em relação a uma quantidade discreta, então, em segundo lugar, voltar para o problema sob investigação. Quanto ao primeiro [ponto], seja a primeira conclusão que toda qualidade uniformemente disforme [...], cujo sujeito é imaginado dividido em algum número de partes iguais deve ser designada pelo número quadrado do qual o número de partes seria a raiz. Por exemplo, seja o sujeito dividido em cinco partes iguais [ver Fig. 17]. Digo que sua qualidade [total] é como 25. [...] Mas, na duplicação de uma razão, surge a proporcionalidade, que é [constituída por] pelo menos três termos [continuamente proporcionais], como é evidente na nona [definição] do [Livro] V [dos *Elementos*]; e, no caso de três números continuamente proporcionais a partir da unidade, o terceiro termo é o quadrado, pelo IX.8 [dos *Elementos*]. Portanto, este terceiro número que resulta da duplicação da razão é um quadrado e por ele é designada a qualidade preestabelecida. Assim etc. Por exemplo, a primeira parte é 1, o sujeito é 5, e a qualidade é 25, que é o número quadrado cuja raiz é 5. [...] Fica claro, portanto, por qual número e por qual figura uma qualidade uniformemente disforme deve ser designada⁴¹⁹ (ORESME, 1968b, p. 561 e 563).

Dito isso, Oresme faz duas observações aritméticas. A primeira delas é que a série numérica que indica a progressão das partes do objeto é dada pela série de números ímpares (1, 3, 5, 7, 9, e assim por diante), e a segunda é que a soma sucessiva das partes sempre resulta em um número quadrado, da mesma forma que o todo é um número quadrado (no exemplo de Oresme, 25), conforme demonstração a seguir:

⁴¹⁹ Na tradução em inglês: “In the first place, we ought to consider uniformly difform in relation to discrete quantity and then secondly turn to the problem under investigation. Concerning the first, let the first conclusion be that every quality uniformly difform [...] whose subject is imagined to be divided into some number of equal parts ought to be designated by the square number of which the number of parts would be the root. For example, let the subject be divided into five equal parts [see Fig. 17]. I say that its [whole] quality is as 25. [...] But in duplicating a ratio there arises proportionality, which is at least [constituted of] three [continually proportional] terms, as is evident in the ninth [definition] of [Book] V [of the *Elements*]; and in the case of three numbers continually proportional from unity, the third term is the square, by IX. 8 [of the *Elements*]. Therefore, this third number which results from the duplication of the ratio is a square and by it is designated the pre-assumed quality. Hence, etc. For example, the first part is 1, the subject is 5, and the quality is 25, which is the square number whose root is 5. [...] It is clear, therefore, by what number and by what figure a quality uniformly difform ought to be designated”.

$$1 + 3 = 4 \text{ (} 2^2 \text{)}$$

$$1 + 3 + 5 = 9 \text{ (} 3^2 \text{)}$$

$$1 + 3 + 5 + 7 = 16 \text{ (} 4^2 \text{)}$$

$$1 + 3 + 5 + 7 + 9 = 25 \text{ (} 5^2 \text{)}$$

E a série acima se mantém adicionando os números ímpares seguintes (11, 13 e assim por diante). Diz Oresme:

A segunda conclusão é que, com um sujeito assim dividido [em partes iguais] e com a parte menos expressiva designada como a primeira parte, a proporção das qualidades parciais, isto é, sua relação mútua, é como a série de números ímpares, onde o primeiro é 1, o segundo 3, o terceiro 5, etc., como é evidente na figura [ver Fig. 17]. Isso é provado porque a primeira [parte] é semelhante ao seu todo e, da mesma forma, o agregado da primeira e segunda [é semelhante ao todo], e também a da primeira, segunda e terceira, e assim por diante. Portanto, pela [proposição] anterior, assim como o todo é um número quadrado, assim também é a primeira [parte], o agregado da primeira e da segunda [partes], e assim por diante. Mas de uma agregação semelhante [isto é, consecutiva] dos números ímpares [começando pela unidade] sempre resultam números quadrados. Assim, eles se adaptam adequadamente a este contexto, como é evidente no exemplo, pois 1 mais 3 se torna 4, que é um quadrado; da mesma forma, 1 mais 3 mais 5 se torna 9, que é um quadrado; e assim prossegue continuamente, como é evidente para o observador⁴²⁰ (ORESME, 1968b, p. 563 e 565).

A partir disso, Oresme conclui que existe uma proporcionalidade entre as qualidades disformes e as qualidades uniformes, afirmando que “toda qualidade, por mais disforme [que seja], é proporcional a qualquer qualidade uniforme, e pode existir alguma qualidade uniforme igual a ela”⁴²¹ (*ibid.*, p. 565).

⁴²⁰ Na tradução em inglês: “The second conclusion is that, with a subject so divided [into equal parts] and with the most remiss part designated as the first part, the ratio of the partial qualities, i.e., their mutual relationship, is as the series of odd numbers where the first is 1, the second 3, the third 5, etc., as is evident in the figure [see Fig. 17]. This is proved because the first is similar to its whole, and similarly the aggregate of the first and second [is similar to the whole], and also that of the first, second, and third, and so on. Therefore by the preceding [proposition], just as the whole is a square number, so also is the first [part], the aggregate of the first and second [parts], and so on. But from a similar [i.e., consecutive] aggregation of the odd numbers [beginning from unity] square numbers always result. Hence they are fittingly adapted to this context, as is evident in the example, for 1 plus 3 makes 4, which is a square; similarly, 1 plus 3 plus 5 makes 9, which is a square; and proceeding thus continually, as is evident to the observant”.

⁴²¹ Na tradução em inglês: “every quality however difform is proportional to any uniform quality and there can be given some uniform quality equal to it”.

4.8 A incomensurabilidade dos movimentos celestes

No tópico 4.2 deste capítulo, demonstrou-se a maneira pela qual a crítica de Oresme à astrologia está relacionada com a sua concepção acerca da incomensurabilidade dos movimentos celestes. O presente tópico concentrar-se-á nessa última questão, pois tal ponto é importante para uma compreensão geral da obra científico-filosófica de Oresme, objeto deste capítulo. Oresme chegou a dedicar um tratado inteiro ao assunto, intitulado *Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum celi*, que poderia ser traduzido como “Tratado sobre a comensurabilidade ou incomensurabilidade dos movimentos celestes”. O presente trabalho não objetiva analisar a obra supracitada, mas apenas destacar os pontos principais acerca do tema, que também foi trabalhado em um pequeno tratado chamado *Ad pauca respicientes*⁴²², além de estar presente no *De proportionibus proportionum*⁴²³. Como se percebe, o assunto era considerado por Oresme como de grande importância, visto que consta em três de seus tratados⁴²⁴.

No caso do tratado *Ad pauca respicientes*, Oresme já inicia o texto fazendo uma crítica aos astrólogos que, segundo o filósofo, julgam erroneamente conhecer as disposições dos corpos celestes e, a partir disso, pensam ser capazes de prever o futuro. Diz ele:

⁴²² Traduzido para o inglês como “Concerning some matters” (Sobre alguns assuntos).

⁴²³ ORESME, 1966, p. 305, trecho já citado na página 157 deste trabalho.

⁴²⁴ Segundo Grant (1971, p. 124-125), “Oresme dedicou dois tratados completos (o *Ad pauca respicientes* e o posterior *De commensurabilitate*) ao tópico da incomensurabilidade circular e celeste, e também encontrou ocasiões para introduzi-lo em uma série de outras obras. Defender a probabilidade da incomensurabilidade celeste não era, para Oresme, um mero exercício escolástico. Ele via nele um meio pelo qual poderia demonstrar razoavelmente que os efeitos celestes eram inerentemente imprevisíveis e, assim, enfraquecer os fundamentos da astrologia e desferir um golpe contra os astrólogos, que tinham despertado sua profunda preocupação em virtude de sua considerável influência sobre o rei da França, Carlos V. Mas, embora suas ideias não fossem sem influência [...], o intenso interesse e fascínio que ele tinha por esse assunto parecem ter morrido com ele. Por ora, seria justo dizer que ele não teve sucessores genuínos”. No original: “Oresme devoted two complete treatises (the *Ad pauca respicientes* and the later *De commensurabilitate*) to the topic of circular and celestial incommensurability and also found occasions to introduce it into a number of other works. Advocating the probability of celestial incommensurability was not, for Oresme, a mere scholastic exercise. He saw in it a means by which he could reasonably demonstrate that celestial effects were inherently unpredictable and thereby weaken the foundations of astrology and strike a blow at the astrologers, who had aroused his deep concern by virtue of their considerable influence on the king of France, Charles V. But although his ideas were not without influence [...], the intense interest and fascination which he had for this subject seem to have died with him. As of now, it would be fair to say that he had no genuine successors”.

Sobre alguns assuntos, como diz Aristóteles, existem pessoas que se expressam com demasiada facilidade. Por exemplo, alguns astrólogos que pensam conhecer com exatidão pontual os movimentos, aspectos, conjunções e oposições dos planetas e as disposições dos corpos celestes acreditam ser homens sábios, mas foram feitos de tolos. Ao julgarem precipitadamente e erroneamente sobre eventos futuros, “eles põem a sua boca contra o céu: e a sua língua percorre a terra”⁴²⁵ (ORESME, 1966, p. 383).

Antes de argumentar a favor da incomensurabilidade dos movimentos celestes, Oresme faz quatro suposições, a partir das quais deduz uma série de proposições:

- *Suposição I*: Algumas grandezas são mutuamente comensuráveis, algumas incomensuráveis, e isso é comum a linhas, superfícies, corpos, tempos, movimentos, qualidades, etc.⁴²⁶ (*ibid.*, p. 385).
- *Suposição II*: Se muitas grandezas são propostas e suas razões são desconhecidas, é possível, duvidoso e provável que qualquer [uma delas] seja incomensurável com qualquer outra⁴²⁷ (*ibid.*, p. 385 e 387).
- *Suposição III*: Não há razão conhecida entre quaisquer grandezas relativas aos movimentos dos corpos celestes. [Por exemplo], não conhecemos a razão entre círculos ou magnitudes percorridos em tempos iguais; nem [conhecemos a razão entre os tempos quando] qualquer [dada] distância [é percorrida], etc. E é bem entendido que não podemos sequer saber sobre grandezas próximas por causa dos sentidos deficientes⁴²⁸ (*ibid.*, p. 387).

⁴²⁵ Na tradução em inglês: “Concerning some matters, as Aristotle says, there are people who speak out much too readily. For instance, some astrologers who think they know with punctual exactness the motions, aspects, conjunctions, and oppositions of the planets and the dispositions of the celestial bodies believe themselves to be wise men but have been made fools. In judging rashly and erroneously about future events, ‘they have set their mouth against heaven: and their tongue hath passed through the earth’”.

⁴²⁶ Na tradução em inglês: “*Supposition I*. Some quantities are mutually commensurable, some incommensurable, and this is common to lines, surfaces, bodies, times, motions, qualities, etc.”.

⁴²⁷ Na tradução em inglês: “*Supposition II*. If many quantities are proposed and their ratios are unknown, it is possible, doubtful, and probable that any [one of them] would be incommensurable to any other”.

⁴²⁸ Na tradução em inglês: “*Supposition III*. There is no known ratio between any quantities pertaining to the motions of celestial bodies. [For example] we do not know the ratio between circles or magnitudes traversed in equal times; nor [do we know the ratio between the times when] any [given] distance [is traversed], etc. And it is well understood that we cannot even know about quantities close by because of defective senses”.

- *Suposição IV*: Cada movimento celeste é uniforme⁴²⁹ (ORESME, 1966, p. 387).

De todas as proposições derivadas a partir das suposições acima, as mais relevantes para o escopo deste trabalho são as cinco últimas, Proposição XVI à Proposição XX da segunda parte do tratado. Na Proposição XVI, Oresme diz ser impossível prever o local e momento exato de qualquer relação entre corpos celestes, pois para isso os seus movimentos deveriam ser comensuráveis, mas não o são. Oresme admite, no entanto, que a rotação diária do Sol é comensurável, pois é a partir dela que se define a duração de um dia e, consequentemente, do ano solar. Diz ele:

*Proposição XVI. Tendo assumido a incomensurabilidade como antes, é impossível prever cientificamente o lugar ou o momento exato de qualquer oposição, conjunção, aspecto ou disposição, passada ou futura. Isso é evidente porque [oposições, conjunções, aspectos ou disposições] não são encontradas exceto por comparação ou comensuração de um movimento com outro, como mostrado na primeira e segunda proposições da primeira parte. Se não houver comensurabilidade, tudo [isso] será desconhecido. Pelo mesmo argumento, digo que se o tempo em que o sol percorre seu círculo fosse incomensurável a um dia, de forma que o ano solar durasse por um certo número de dias e uma parte de um dia [fosse] incomensurável a um dia inteiro, a duração do ano era, é e será perpetuamente desconhecida; e é totalmente impossível conhecê-la e descobrir o calendário verdadeiro. E a mesma coisa pode ser dita sobre o ano lunar e qualquer planeta⁴³⁰ (*ibid.*, p. 421 e 423).*

Na Proposição XVII, Oresme propõe que a configuração espacial dos corpos celestes nunca se repete, de modo que um corpo nunca terá a mesma posição em relação ao outro em um tempo futuro. Ele explica em seguida que a existência de muitos círculos, distâncias e movimentos resulta em sua incomensurabilidade⁴³¹, conforme segue:

⁴²⁹ Na tradução em inglês: “*Supposition IV. Every single celestial motion is uniform*”.

⁴³⁰ Na tradução em inglês: “*Proposition XVI. Having assumed incommensurability as before, it is impossible to predict scientifically the exact place or time of any past or future opposition, conjunction, aspect, or disposition. This is evident because [oppositions, conjunctions, aspects, or dispositions] are not found except by comparison or commensuration of one motion to another, as shown in the first and second propositions of the first part. If there should be no commensurability, all [this] will be unknown. By the same argument, I say that if the time in which the sun traverses its circle were incommensurable to a day, so that the solar year would last through a certain number of days and a part of a day incommensurable to a whole day, the length of the year was, is, and will be perpetually unknown; and it is wholly impossible to know it and find the true calendar. And the same thing can be said about the lunar year and any planet*”.

⁴³¹ Conforme o Capítulo III, Proposição X do *De proportionibus proportionum* (ORESME, 1966, p. 247), o mesmo ocorre com as razões (como 47/24, 93/41, etc.). Sobre isso, consultar a página 169 desta tese.

Proposição XVII. É provável que, em qualquer instante, os corpos celestes estejam relacionados de tal forma que nunca estiveram assim relacionados no passado, nem estarão assim relacionados em qualquer momento no futuro; nem houve, nem haverá uma configuração ou disposição semelhante por toda a eternidade. Ora, se o antecedente é provável, o consequente será provável. Mas que é provável que qualquer quantidade ou quantidades, sejam círculos ou distâncias relativas aos movimentos celestes, sejam incomensuráveis, é claro pela segunda suposição da primeira parte, já que existem muitos círculos, latitudes, distâncias, excentricidades e muitos movimentos e diversidades. E disso segue o que foi proposto, pela sétima e décima terceira proposições desta parte e outras proposições mencionadas anteriormente⁴³² (ORESME, 1966, p. 423).

A Proposição XVIII segue-se da proposição anterior, dado que como a posição de um corpo em relação a outro nunca se repete, deduz-se que a conjunção (ou seja, a proximidade aparente dos astros, conforme observados da Terra) entre determinado conjunto de corpos celestes ocorra apenas uma vez em toda a eternidade. Oresme acrescenta que uma conjunção desse tipo poderia ser a causa do surgimento ou desaparecimento de alguma espécie, bem como de algum evento único, que não teve um predecessor e nem terá um sucessor, tal como o dilúvio bíblico. Para o filósofo, Deus poderia determinar que dada situação ocorresse em um momento específico da eternidade, de modo que não se deveria buscar uma explicação para tal fenômeno. Diz Oresme:

Proposição XVIII. É possível que três, ou quatro, ou mais planetas possam estar em conjunção apenas uma vez por toda a eternidade. Isso é bastante claro, pela nona proposição da primeira parte. E agora, se assumirmos que tal conjunção [única] poderia ser uma causa natural da geração de alguma espécie por meio da putrefação ou de alguma outra forma, talvez alguma espécie possa ser recém-criada e perdurar por toda a eternidade. E a mesma coisa pode ser considerada sobre a corrupção. E, da mesma forma, tal conjunção pode ser a causa de algum efeito que não teve predecessor semelhante nem terá um sucessor semelhante, assim como [por exemplo] o dilúvio ou algum outro desses eventos. [...] E não se deve procurar outra causa [para explicar] porque mais [corpos] estão conjuntos agora do que antes ou porque [isso acontece] neste instante em vez de outro. Mas, sabendo disso, parecerá mais crível que um agente livre como Deus possa arranjar e ordenar através da eternidade que algo seja feito ou produzido por um certo instante [particular]. Agora, assim como antes,

⁴³² Na tradução em inglês: “*Proposition XVII. It is probable that in any instant the celestial bodies are related in such a way that they were never so related in the past, nor will be so related at any time in the future; nor was there, nor will there be, a similar configuration or disposition through all eternity.* Now if the antecedent is probable, the consequent will be probable. But that it is probable that any quantity or quantities, whether circles or distances pertaining to celestial motions, would be incommensurable is clear from the second supposition of the first part, since there are many circles, latitudes, distances, eccentricities and many motions and diversities. And from this what has been proposed follows, by the seventh and thirteenth propositions of this part and other previously mentioned propositions”.

não se deve buscar por uma explicação disso⁴³³ (ORESME, 1966, p. 423 e 425).

Na Proposição XIX, Oresme faz um ataque direto à astrologia, afirmando que mesmo que os céus se movessem uniformemente e que o mundo fosse eterno⁴³⁴, seria impossível prever qualquer acontecimento futuro, a menos que fosse mediante revelação divina. O filósofo então conclui que a astrologia é vã:

Proposição XIX. Suponha que todo este mundo inferior seja completamente governado pelo poder dos céus, e que os céus se movam uniformemente, e que todas as coisas aconteçam por necessidade, e que não haja acaso nem livre-arbítrio, e que o mundo e o movimento sejam eternos; contudo, [admitindo tudo isso], ninguém sabe, ou poderia saber, como julgar com razão sobre eventos futuros, pois isso é totalmente impossível, exceto por revelação. De fato, um juízo sobre eventos futuros não poderia ser feito exceto por observações de eventos passados, mas, já que seria provável que nenhuma disposição futura fosse semelhante a qualquer disposição passada, como ficou claro na décima sétima proposição, segue-se o que foi proposto. Além disso, assumindo qualquer incomensurabilidade nos movimentos, o que é provável, toda disposição futura, desde que viesse do presente, seria desconhecida, pela décima sexta proposição. [...] Além disso, não se sabe se os movimentos são comensuráveis ou não; e quem ignora o antecedente ignora necessariamente o consequente. Segue-se de todas essas coisas que a astrologia é vã; que todas as coisas permanecem ocultas por detrás Daquele que enumera a multidão de estrelas e que governa o mundo pela razão eterna. Ninguém, portanto, deveria presumir julgar tão facilmente sobre a causa das coisas incertas⁴³⁵ (ORESME, 1966, p. 425 e 427).

⁴³³ Na tradução em inglês: “*Proposition XVIII. It is possible that three, or four, or more planets could be in conjunction only once through all eternity.* This is quite clear, by the ninth proposition of the first part. And now if it be assumed that such a [unique] conjunction could be a natural cause of the generation of some species by means of putrefaction or in some other way, perhaps some species can be newly created which will last through eternity. And the same thing may be considered about corruption. And likewise, such a conjunction might be the cause of some effect which had no similar predecessor nor will have a similar successor, just as [for example] the flood or some other such event. [...] And one ought not to seek another cause [to explain] why more are conjoined now than then, or why [it happens] in this instant rather than in another. But knowing this it will seem more credible that a free agent like God could arrange and ordain through eternity that something be done or produced for a certain [particular] instant. Now, just as before, one ought not to seek for an explanation of this”.

⁴³⁴ Como teólogo cristão, Oresme certamente era contrário à possibilidade de que o mundo fosse eterno, já que isso seria prescindir do ato divino da Criação.

⁴³⁵ Na tradução em inglês: “*Proposition XIX. Assume that this whole lower world is completely ruled by the power of the heavens, and that the heavens are uniformly moved, and that all things happen from necessity, and there is neither chance nor freedom of the will, and the world and motion are eternal; and yet [conceding all this] no one knows, or could know, how to judge rightly about future events, for it is utterly impossible except by revelation.* Indeed, a judgment about future events could not be made except by observations of past events, but since it would be probable that no future disposition is similar to any past disposition, as made clear in the seventeenth proposition, what has been proposed follows. Furthermore, assuming any incommensurability in motions, which is probable, every future disposition, as long as it came from the present, would be unknown, by the sixteenth proposition. [...] Furthermore,

Na Proposição XX, a última do tratado, Oresme defende a astronomia, por meio da qual o homem adquire conhecimento acerca dos corpos celestes e assim pode refutar cientificamente os erros no âmbito desse saber. Para Oresme, o astrônomo não deve tecer considerações acerca do futuro baseado na configuração dos astros, pois isso seria trabalhar em vão e agir de modo presunçoso:

*Proposição XX. Por causa do que foi dito, ninguém deve desprezar a ciência da astronomia, ou abandoná-la ou desesperar-se sobre isto. Pois Aristóteles, no segundo livro do Sobre os Céus, diz que é melhor conhecer um pouco sobre coisas nobres do que muito sobre coisas ignóbeis ou vis. Ora, os corpos celestes são os mais nobres de todos os corpos sensíveis. De fato, é melhor saber sobre isso para que um homem possa repudiar os erros cientificamente por demonstrações sólidas e não por tagarelices vazias, como fazem aqueles que são ignorantes; e compreender as verdades ou probabilidades restantes é adquirir prudência para que, através das coisas visíveis, as obras perfeitas de Deus possam engrandecer o criador invisível. [...] Assim, é suficiente para um bom astrônomo avaliar os movimentos e aspectos próximos a um ponto, e que seus sentidos não observem e avaliem o oposto. Mas aquele que deseja buscar mais, ou acredita que sabe, trabalha em vão, prejudica o espírito e é tolamente presunçoso sobre previsões de efeitos ou eventos a partir de tais configurações. Exceto de maneira muito geral e duvidosa, ninguém deve falar, mas antes conter a língua sobre coisas que estão nas mãos de Deus, pois apenas Ele sabe aos olhos de quem “todas as coisas estão nuas e expostas”*⁴³⁶(ORESME, 1966, p. 427 e 429).

Por fim, no que diz respeito ao *Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum celi*, a obra não será aqui analisada por que nela Oresme dá um tratamento mais matemático à questão da incomensurabilidade dos movimentos celestes, algo que se distanciaria muito do escopo deste capítulo, que foi o de apresentar, em linhas gerais, o pensamento científico-filosófico de Nicole Oresme.

one does not know if the motions are commensurable or not; and who is ignorant of the antecedent is necessarily ignorant of the consequent. It follows from all these things that astrology is vain; that all things lie hidden behind Him who numbers the multitude of stars, and who governs the world by reason everlasting. No one, therefore, should presume to judge so facilely about the cause of uncertain things”.

⁴³⁶ Na tradução em inglês: “*Proposition XX. Because of what has been said, no one ought to despise the science of astronomy or abandon or despair about it. For Aristotle, in the second book of On the Heavens, says it is better to know a little about noble things than much about ignoble or vile things. Now celestial bodies are the most noble of all sensible bodies. Indeed, it is best to know about this so that a man might repudiate errors scientifically by solid demonstrations and not by empty babbling as do those who are ignorant; and to understand the remaining truths or probabilities is to acquire prudence so that through visible things the perfect works of God might magnify the invisible creator. [...] Thus it is sufficient for a good astronomer to judge motions and aspects near a point, and that his senses do not observe and judge the opposite. But one who wishes to seek more, or believes he knows, labors in vain and impairs the spirit and is foolishly presumptuous about predictions of effects or events from such configurations. Except in a very general and doubtful way, no one ought to speak but rather to restrain the tongue about things which are in the hands of God, for only He knows to whose eyes ‘all things are naked and open’*”.

CAPÍTULO 5. ESTUDOS CONTEMPORÂNEOS SOBRE ORESME

5.1 A hipótese de Pierre Duhem

Em sua monumental obra *Le Système du Monde*, de dez volumes, na qual traça a história das doutrinas cosmológicas de Platão a Copérnico, o físico e historiador da ciência Pierre Duhem (1861-1916) dedicou-se, dentre muitos outros assuntos, a comentar a obra de Nicole Oresme, a quem considerou não apenas um precursor de Copérnico por ter proposto a rotação terrestre, mas também de Descartes, já que suas demonstrações geométricas antecipavam o que seria a geometria analítica, e por fim de Galileu, por ter estabelecido a lei dos espaços que um corpo em movimento retilíneo uniformemente variado percorre. É o que Duhem enuncia logo no início do Capítulo VI do tomo VII do *Le Système du Monde*, intitulado “A Latitude das Formas: Nicole Oresme e seus discípulos parisienses”⁴³⁷:

Em Nicole Oresme, teremos mais tarde a oportunidade de reconhecer um precursor de Copérnico; ele argumentou, de fato, que ao supor os céus imóveis e a Terra animada por um movimento diurno de rotação, havia maior probabilidade do que seguir a hipótese contrária. Mas Oresme não foi apenas precursor de Copérnico, ele também foi precursor de Descartes e precursor de Galileu; ele inventou a geometria analítica; ele estabeleceu a lei dos espaços que um móvel percorre em um movimento variado⁴³⁸ (DUHEM, 1956, p. 534).

Mais à frente, Duhem expõe o porquê de considerar Oresme precursor da geometria analítica, ao traduzir para a linguagem moderna a proposição formulada e demonstrada pelo autor medieval, afirmando que tal proposição equivale à equação da reta na geometria analítica:

Vamos traduzir para a linguagem moderna a proposição formulada e demonstrada por Oresme; a tradução só pode ser esta: É o mesmo que dizer: A intensidade que é medida varia com a extensão, de modo a ser representada por uma linha reta inclinada ao longo do eixo das longitudes ou abscissas. – Ou dizer: Dados três pontos quaisquer M_1 ,

⁴³⁷ No original: « La Latitude des Formes. Nicole Oresme et ses disciples parisiens ».

⁴³⁸ No original: « En Nicole Oresme, il nous sera donné, plus tard, de saluer un précurseur de Copernic; il a soutenu, en effet, qu'à supposer le Ciel immobile et la Terre animée d'un mouvement diurne de rotation, il y avait plus grande vraisemblance qu'à suivre l'hypothèse contraire. Mais Oresme n'a pas été seulement le précurseur de Copernic, il a été aussi le précurseur de Descartes et le précurseur de Galilée ; il a inventé la Géométrie analytique ; il a établi la loi des espaces qu'un mobile parcourt en un mouvement varié ».

M_2, M_3 , cujos x_1, x_2, x_3 são as longitudes ou abscissas, e y_1, y_2, y_3 as latitudes ou ordenadas, temos continuamente a igualdade: $x_1 - x_2 / x_2 - x_3 = y_1 - y_2 / y_2 - y_3$. E o que é isso, senão a formulação da equação da reta, em uma das formas mais comumente usadas em nossa moderna geometria analítica? Não é porventura justo afirmar que a geometria analítica bidimensional foi criada por Oresme?⁴³⁹ (DUHEM, 1956, p. 548).

Duhem prossegue reafirmando novamente a precedência de Oresme em relação a Copérnico, Descartes e Galileu, frisando que, no caso do primeiro, a antecipação de Oresme deveu-se ao fato de sua contestação à física aristotélica no que concerne ao movimento terrestre; enquanto no caso de Descartes, como já apontado, deveu-se ao estabelecimento da equação da reta; por fim, em relação a Galileu, a contribuição de Oresme consistiu na descoberta ou refinamento da lei que estabelece que a distância percorrida por um corpo em movimento retilíneo uniformemente variado aumenta em função do tempo decorrido. Após tais apontamentos, Duhem se propõe a analisar essa última parte do trabalho de Oresme. Diz Duhem:

Nicole Oresme não apenas se antecipou a Copérnico apoiando, contra a física peripatética, a possibilidade do movimento diurno da Terra; ele não apenas precedeu Descartes ao utilizar representações geométricas obtidas usando coordenadas retangulares em duas ou três dimensões, e ao estabelecer a equação da reta; ele também fez ou esclareceu uma descoberta que se atribui comumente a Galileu; ele reconheceu a lei segundo a qual aumenta, com o tempo, a distância percorrida por um móvel, decorrente de um movimento uniformemente variado; é esta última parte de sua obra que agora vai reter nossa atenção⁴⁴⁰ (*ibid.*, p. 550).

O estudo empreendido por Duhem na sequência desta passagem não será reproduzido aqui, visto que a obra científico-filosófica de Oresme já foi analisada no capítulo anterior, de modo que sua exposição neste tópico seria repetitiva. O ponto a ser

⁴³⁹ No original: « Traduisons en langage moderne la proposition formulée et démontrée par Oresme ; la traduction n'en peut être que celle-ci : Il revient au même de dire: L'intensité que l'on mesure varie avec l'extension, de manière à être représentée par une ligne droite inclinée sur l'axe des longitudes ou abscisses. — Ou bien de dire : Étant donnés trois points quelconques M_1, M_2, M_3 , dont x_1, x_2, x_3 sont les longitudes ou abscisses, et y_1, y_2, y_3 les latitudes ou ordonnées, on a sans cesse l'égalité : $x_1 - x_2 / x_2 - x_3 = y_1 - y_2 / y_2 - y_3$. Et qu'est-ce là, sinon la mise en équation de la ligne droite, sous une des formes les plus usitées en notre moderne Géométrie analytique ? N'est-il donc pas juste de dire que la Géométrie analytique à deux dimensions a été créée par Oresme ? ».

⁴⁴⁰ No original: « Non seulement Nicole Oresme a devancé Copernic en soutenant contre la Physique péripatéticienne la possibilité du mouvement diurne de la Terre ; non seulement il a précédé Descartes en faisant usagé de représentations géométriques obtenues à l'aide de coordonnées rectangulaires à deux ou à trois dimensions, et en établissant l'équation de la ligne droite ; il a encore fait ou précisé une découverte que l'on attribue communément à Galilée ; il a reconnu la loi suivant laquelle croît, avec le temps, la longueur parcourue par un mobile qu'entraîne un mouvement uniformément varié ; c'est cette dernière partie de son œuvre qui va maintenant retenir notre attention ».

observado aqui é a argumentação de Duhem a favor da tese de que Oresme foi precursor dos autores modernos supracitados. Quanto à Galileu, Duhem relaciona-o a Oresme nos seguintes termos:

Ele [Oresme] entende que o espaço percorrido em um movimento uniformemente variado é igual àquela que seria percorrida em um movimento uniforme de mesma duração, tendo como velocidade a velocidade atingida pelo primeiro [movimento] em seu instante médio. Ora, esta lei é aquela que se costuma considerar um dos títulos de glória de Galileu⁴⁴¹ (DUHEM, 1956, p. 560).

A ideia exposta acima é chamada por Duhem de “Regra de Oresme”⁴⁴² (*ibid.*, p. 561), embora o historiador deixe claro que, com esse nome, não pretende afirmar que Oresme foi o primeiro a ter conhecimento de tal regra, mas sim que ele foi pioneiro na utilização de coordenadas e representações gráficas para ilustrá-la:

Com esse nome, aliás, não pretendemos afirmar que Oresme tenha sido o primeiro conhecedor dessa regra; o que diremos na sequência deste capítulo mostra que esta afirmação seria singularmente arriscada. Do que acabamos de desenterrar, o que parece ser propriedade exclusiva de Oresme é o emprego de coordenadas e representações gráficas, que confere à sua exposição tanta clareza e precisão. Mas, das verdades que ele expõe por esse meio, certamente há várias que já se discutia em Paris e Oxford; entre elas, parece estar aquela que dá a conhecer a medição de uma quantidade uniformemente disforme⁴⁴³ (*ibid.*, p. 561).

Segundo Duhem, o uso das coordenadas difundiu-se em Paris ainda no tempo de Oresme, sendo empregada em estudos acerca da física. Isso demonstra que as ideias de Oresme continuaram sendo discutidas após sua morte, o que permite supor que, talvez, Descartes tivesse algum conhecimento delas. Contudo, trata-se de uma suposição, visto

⁴⁴¹ No original: « Il entend que l'espace parcouru dans un mouvement uniformément varié soit égal à celui qui serait parcouru dans un mouvement uniforme de même durée, ayant pour vitesse la vitesse qu'atteint le premier à son instant moyen. Or, cette loi est celle dont on a coutume de faire l'un des titres de gloire de Galilée ».

⁴⁴² No original: « Règle d'Oresme ».

⁴⁴³ No original: « Par ce nom, d'ailleurs, nous n'entendons pas affirmer qu'Oresme ait eu, le premier, connaissance de cette règle ; ce que nous dirons dans la suite de ce chapitre montre que cette affirmation serait singulièrement hasardée. De ce que nous venons d'exhumer, ce qui paraît être l'exclusive propriété d'Oresme, c'est l'emploi des coordonnées et des représentations graphiques, qui donne à son exposition tant de clarté et tant de précision. Mais des vérités qu'il expose par ce moyen, il en est certainement plusieurs dont on disputait déjà à Paris et à Oxford ; de ce nombre paraît être celle qui fait connaître la mesure d'une quantité uniformément difforme ».

que Descartes jamais indicou que pudesse ter sido influenciado pelo seu compatriota francês. Diz Duhem:

As diversas indicações que acabamos de reunir mostram-nos que no tempo em que Nicole Oresme, bispo de Lisieux, vivia seus últimos dias, o uso de coordenadas retangulares, que ele tinha imaginado e recomendado, espalhou-se nas escolas de Paris; em particular, a regra relativa às latitudes uniformemente disformes, que justificava o emprego dessas coordenadas, era comumente invocada nas discussões de Física⁴⁴⁴ (DUHEM, 1956, p. 569).

Além dos trechos precedentes, Duhem escreveu um pequeno texto intitulado “Um Precursor francês de Copérnico: Nicole Oresme (1377)”⁴⁴⁵, publicado na *Revue Générale des Sciences* em 15 de novembro de 1909. Nesse trabalho, Duhem apresenta um resumo da atividade intelectual de Oresme e, mais especificamente, do *Le Livre du ciel et du monde* (Tratado do Céu e do Mundo), destacando que nessa obra Oresme afirma ser impossível provar, por qualquer experiência, que o céu possui movimento diurno e a Terra não⁴⁴⁶ e que tal tese também não pode ser provada pela razão⁴⁴⁷. Ademais, Duhem também pontua que Oresme, na obra supracitada, apresentou argumentos a favor da tese da rotação terrestre⁴⁴⁸. Contudo, o que nos interessa nesse tópico é a conclusão⁴⁴⁹ de Duhem, segundo a qual Oresme foi um precursor⁴⁵⁰ de Copérnico:

⁴⁴⁴ No original: « Les diverses indications que venons de recueillir nous montrent qu’au temps où Nicole Oresme, évêque de Lisieux, vivait ses derniers jours, l’usage des coordonnées rectangulaires, qu’il avait imaginé et recommandé, s’était répandu dans les écoles de Paris ; en particulier, la règle relative aux latitudes uniformément difformes, que justifiait l’emploi de ces coordonnées, était couramment invoquée dans les discussions de Physique ».

⁴⁴⁵ No original: « Un Précurseur français de Copernic : Nicole Oresme (1377) ».

⁴⁴⁶ Refiro-me à parte II do ensaio de Duhem, intitulada “Que não se pode provar, por qualquer experiência, que o Céu está em movimento diário e a Terra não” (DUHEM, 1909, p. 8). No original: « Que l’on ne pourroit prouver par quelconque expérience que le Ciel soit meu de mouvement journal et la Terre non ».

⁴⁴⁷ Parte III do supracitado ensaio, intitulada “Que isto não pode ser provado pela razão” (*ibid.*, p. 14). No original: « Que ce ne pourroit estre prouvé par raison ».

⁴⁴⁸ Parte IV do ensaio, intitulada “Diversas persuasões belas mostram que a Terra se move por um movimento diário e o Céu não” (*ibid.*, p. 20). No original: « Plusieurs belles persuasions a montrer que la Terre est meue de mouvement journal et le Ciel non ».

⁴⁴⁹ Parte VI do ensaio.

⁴⁵⁰ O próprio título do ensaio indica isso, pois se trata de uma afirmação, e não de uma pergunta.

Nicolau Copérnico teve conhecimento dessa dissertação⁴⁵¹ em favor do movimento diurno da Terra? É uma questão à qual seria muito difícil de responder de uma maneira peremptória. Escrito em francês, por ordem do rei, às suas custas, por uma das figuras mais importantes da Universidade de Paris, o Comentário ao *Tratado do Céu e do Mundo* escrito pelo Mestre Nicole Oresme deve ter desfrutado de uma grande popularidade na França. Por outro lado, o próprio fato de que foi redigido em língua francesa deve ter impedido que fosse facilmente conhecido nas universidades estrangeiras. No início do século XVI, a imprensa francesa publicou as outras traduções feitas por Oresme, como as da *Ética*, *Política* e os *Econômicos*; ela também publicou, e por duas vezes, o *Tratado da Esfera*, que os manuscritos juntam frequentemente ao *Tratado do Céu e do Mundo*, em conformidade com o desejo que o próprio Oresme expressou; estranhamente, a imprensa negligenciou só o *Tratado do Céu e do Mundo*. É bem possível que Copérnico desconhecesse esse tratado. E por outro lado, quando lemos o que Copérnico escreveu⁴⁵² para estabelecer a possibilidade e a probabilidade do movimento diurno da Terra, ficamos impressionados pelas analogias que aproximam o pensamento do Cônego de Toruń ao do Bispo de Lisieux; voluntariamente tomaríamos os capítulos do *A revolução dos orbes celestes* por um resumo, demasiado conciso e um tanto obscuro, daqueles que encontramos no *Tratado do Céu e do Mundo*. Nicole Oresme foi apenas um precursor de Nicolau Copérnico? Não seria ele, além disso, sua inspiração? Fazemos a pergunta sem ousar formular a resposta⁴⁵³ (DUHEM, 1909, p. 26-27).

Na passagem acima, Duhem afirma que, muito provavelmente, Copérnico desconhecia o *Le Livre du ciel et du monde*, o que evidentemente não impede que Oresme tenha sido o precursor do polonês ao apresentar uma argumentação muito próxima daquela desenvolvida por ele. Ao final, Duhem ainda dá um passo adiante, ao

⁴⁵¹ Ou seja, do *Le Livre du ciel et du monde*.

⁴⁵² Nesse ponto, Duhem acrescenta uma nota de rodapé informando que se refere ao Livro I, Capítulos VII, VIII e IX do *De revolutionibus orbium coelestium*.

⁴⁵³ No original: « De cette dissertation en faveur du mouvement diurne de la Terre, Nicolas Copernic a-t-il eu connaissance ? C'est une question à laquelle il serait bien malaisé de répondre d'une manière péremptoire. Écrit en français, sur l'ordre du roi, à ses frais, par un des personnages les plus considérables de l'Université de Paris, le Commentaire au *Traité du Ciel et du Monde* composé par Maître Nicole Oresme dut jouir en France d'une grande vogue. En revanche, le fait même qu'il était rédigé en langue française dut empêcher qu'il ne fût aisément connu dans les Universités étrangères. Au début du XVI siècle, l'imprimerie française publia les autres traductions faites par Oresme, celle des *Éthiques* comme celle des *Politiques* et des *Économiques* ; elle donna aussi, et par deux fois, ce *Traité de l'Espère* que les manuscrits joignent souvent au *Traité du Ciel et du Monde*, conformément au désir qu'Oresme lui-même avait exprimé ; chose étrange, la presse délaissa le seul *Traité du Ciel et du Monde*. Il est donc fort possible que Copernic ait ignoré ce traité. Et d'autre part, quand on lit ce que Copernic a écrit pour établir la possibilité et la vraisemblance du mouvement diurne de la Terre, on est frappé des analogies qui rapprochent la pensée du chanoine de Thorn de celle de l'évêque de Lisieux ; volontiers on prendrait les Chapitres du *De revolutionibus orbium coelestium* pour un résumé, trop concis et quelque peu obscur, de ceux que nous avons trouvés au *Traité du Ciel et du Monde*. Nicole Oresme n'a-t-il été que le précurseur de Nicolas Copernic ? N'en a-t-il pas, en outre, été l'inspirateur ? Nous posons la question sans oser formuler la réponse ».

propor que Oresme, mais do que um precursor, talvez tenha sido a inspiração de Copérnico, questão que permanece em aberto.

5.2 Edward Grant

Um dos mais notáveis historiadores da ciência medieval contemporâneos, Edward Grant (1926-2020) também apontou as semelhanças entre o trabalho de Oresme e as contribuições dos autores modernos, como Galileu. Em sua obra *Physical Science in the Middle Ages*, ao discutir acerca da queda dos corpos, Grant faz uma observação geral acerca da possível influência do pensamento medieval sobre Galileu, apontando a inexistência de provas que pudessem corroborar tal tese e propondo que a semelhança observada entre os autores medievais e Galileu talvez não passassem de coincidência. Diz Grant:

A semelhança de abordagem e as conclusões quase idênticas obtidas por Galileu e seus predecessores medievais são impressionantes, mas talvez coincidência. Embora Galileu possa ter tomado conhecimento das discussões medievais durante seus tempos de estudante, não existem provas concretas para fundamentar essa possibilidade⁴⁵⁴ (GRANT, 1977, p. 47).

Mais adiante, Grant se ocupa do teorema da velocidade média, afirmando que durante os séculos XIV e XV foram feitas várias demonstrações matemáticas do teorema e que, dentre elas, a mais conhecida foi feita por Nicole Oresme. Após explicar que as expressões e os símbolos matemáticos que acabara de utilizar para expressar o teorema não existiam na Idade Média, Grant explica-o nos seguintes termos:

Elas⁴⁵⁵ explicam que um corpo, ou ponto, iniciando uma aceleração uniforme a partir do repouso, percorrerá certa distância em certo tempo. Afirma-se então que se o mesmo corpo se movesse durante o mesmo intervalo de tempo com uma velocidade uniforme igual à velocidade instantânea adquirida no instante médio de sua aceleração uniforme, ele percorreria uma distância igual. Assim, um movimento uniformemente acelerado é equiparado a um movimento uniforme, tornando possível expressar a distância percorrida pelo primeiro em termos da distância percorrida pelo último. Numerosas demonstrações

⁴⁵⁴ No original: “The similarity of approach and the nearly identical conclusions reached by Galileo and his medieval predecessors are striking, but perhaps coincidental. Although Galileo may have become aware of medieval discussions during his student days, no hard evidence exists to substantiate this possibility”.

⁴⁵⁵ As fórmulas matemáticas apresentadas anteriormente.

aritméticas e geométricas desse teorema fundamental foram propostas durante os séculos quatorze e quinze. Destas, a mais conhecida é uma demonstração geométrica de Nicole Oresme, formulada por volta de 1350 em uma obra intitulada *Sobre as Configurações das Qualidades*, facilmente o tratamento mais original e abrangente existente da intensão e remissão de qualidades⁴⁵⁶ (GRANT, 1977, p. 56-57).

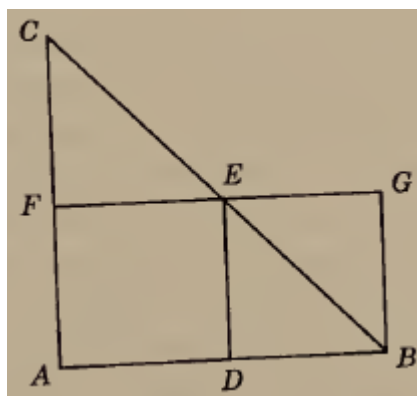
Na sequência, Grant explica detalhadamente a demonstração geométrica de Oresme, por meio da Figura 4 de seu livro. Nessa figura, a linha AB representa o tempo, enquanto a linha AC representa a velocidade do corpo Z. Assim, a distância total percorrida por Z a partir do repouso em B até alcançar a velocidade máxima em C, durante o tempo AB, é dada pelo triângulo CBA. Na figura, a linha DE representa a velocidade alcançada por Z no instante médio do tempo. Se Z se movesse uniformemente com a velocidade E, partindo do ponto G até o ponto F, no tempo BA, a distância percorrida seria representada pelo retângulo AFGB. Como as áreas do triângulo CBA e do retângulo AFGB são equivalentes, conclui-se que um corpo com aceleração uniforme percorre a mesma distância que um corpo em velocidade uniforme, desde que essa seja igual à velocidade do instante médio do movimento uniformemente acelerado. Nas palavras de Grant:

Na Fig. 4, considere que a linha AB representa o tempo e as perpendiculares erguidas sobre AB representam a velocidade de um corpo, Z, partindo do repouso em B e aumentando uniformemente até uma certa velocidade máxima em AC. A totalidade das intensidades de velocidade contida no triângulo CBA foi concebida como representando a distância total percorrida por Z no movimento de B para C ao longo da linha BC no tempo total AB. Considere a linha DE representando a velocidade instantânea que Z adquire no instante médio do tempo conforme medida ao longo de AB. Se Z fosse agora movido uniformemente com qualquer velocidade que possuísse em DE, a distância total que ele percorreria no movimento de G para F ao longo da linha GF no tempo AB é representada pelo retângulo AFGB. Se puder ser demonstrado que a área do triângulo CBA é igual à área do retângulo AFGB, terá sido demonstrado que um corpo uniformemente acelerado a partir do repouso percorreria a mesma distância que um corpo em movimento durante o mesmo intervalo de tempo a uma velocidade uniforme igual àquela do instante médio do movimento uniformemente acelerado. Ou seja, $S = \frac{1}{2} V_t t$, a distância

⁴⁵⁶ No original: “They explain that a body, or point, commencing uniform acceleration from rest, would traverse a certain distance in a certain time. The claim is then made that if the same body were to move during the same interval of time with a uniform velocity equal to the instantaneous speed acquired at the middle instant of its uniform acceleration, it would traverse an equal distance. Thus a uniformly accelerated motion is equated with a uniform motion, making it possible to express the distance traversed by the former in terms of the distance traversed by the latter. Numerous arithmetic and geometric proofs of this vital theorem were proposed during the fourteenth and fifteenth centuries. Of these, the best known is a geometric proof by Nicole Oresme, formulated around 1350 in a work titled *On the Configurations of Qualities*, easily the most original and comprehensive extant treatment of the intension and remission of qualities”.

percorrida por Z com movimento uniforme, é igual a $S = \frac{1}{2} at^2$, a distância percorrida por Z quando está [em movimento] uniformemente acelerado. Que as duas áreas são iguais é demonstrado da seguinte forma: já que $\angle BEG = \angle CEF$ (ângulos opostos pelo vértice são iguais), $\angle BGE = \angle CFE$ (ambos são ângulos retos), e $GE = EF$ (linha DE bissecta à linha GF), os triângulos EFC e EGB são iguais (pelos *Elementos* de Euclides, Livro I, Proposição 26). Quando a cada um desses triângulos iguais é adicionada a área BEFA para formar o triângulo CBA e o retângulo AFGB, é imediatamente óbvio que as áreas do triângulo CBA e do retângulo AFGB são iguais⁴⁵⁷ (GRANT, 1977, p. 57).

Figura 12



[Fig. 4 de GRANT, 1977, p. 57]

Grant afirma que o raciocínio geométrico de Oresme, bem como outras demonstrações aritméticas do teorema da velocidade média, tornaram-se bastante populares na Itália, o que leva a crer que Galileu possa ter tido contato com elas. De fato, e de modo muito parecido com o de Oresme, Galileu tornou o supracitado teorema na primeira proposição do Terceiro Dia dos seus *Discorsi* (Discursos sobre as Duas Novas Ciências), fundamentando a nova ciência do movimento. Prossegue Grant:

⁴⁵⁷ No original: “In Fig. 4, let line AB represent time and let the perpendiculars erected on AB represent the velocity of a body, Z, beginning from rest at B and increasing uniformly to a certain maximum velocity at AC. The totality of velocity intensities contained in triangle CBA was conceived as representing the total distance traversed by Z in moving from B to C along line BC in the total time AB. Let line DE represent the instantaneous velocity which Z acquires at the middle instant of the time as measured along AB. If Z were now moved uniformly with whatever velocity it has at DE, the total distance it will traverse in moving from G to F along line GF in time AB is represented by rectangle AFGB. If it can be shown that the area of triangle CBA equals the area of rectangle AFGB, it will have been demonstrated that a body accelerated uniformly from rest would traverse the same distance as a body moving during the same time interval at a uniform speed equal to that of the middle instant of the uniformly accelerated motion. That is, $S = \frac{1}{2} V_{\text{t}} t$, the distance traversed by Z with uniform motion, equals $S = \frac{1}{2} at^2$, the distance traversed by Z when it is uniformly accelerated. That the two areas are equal is demonstrated as follows: since $\angle BEG = \angle CEF$ (vertical angles are equal), $\angle BGE = \angle CFE$ (both are right angles), and $GE = EF$ (line DE bisects line GF), triangles EFC and EGB are equal (by Euclid’s *Elements*, Book I, Proposition 26). When to each of these equal triangles is added area BEFA to form triangle CBA and rectangle AFGB, it is immediately obvious that the areas of triangle CBA and rectangle AFGB are equal”.

A demonstração geométrica de Oresme e numerosas demonstrações aritméticas do teorema da velocidade média foram amplamente disseminadas na Europa durante os séculos quatorze e quinze, e foram especialmente populares na Itália. Através de edições impressas do final do século quinze e início do século dezesseis, é bastante provável que Galileu tornou-se razoavelmente familiarizado com elas. Ele tornou o teorema da velocidade média a primeira proposição do Terceiro Dia dos seus *Discursos sobre Duas Novas Ciências*, onde serviu como base da nova ciência do movimento. A demonstração de Galileu não apenas é surpreendentemente semelhante à de Oresme, como a figura geométrica que a acompanha é praticamente idêntica, apesar de uma reorientação de 90°, uma reorientação que já tinha sido feita por alguns autores medievais⁴⁵⁸ (GRANT, 1977, p. 57-58).

Em seguida, Grant problematiza a visão amplamente aceita da originalidade das contribuições mecânicas de Galileu, argumentando que as interpretações acerca de seu trabalho foram feitas entre os séculos XVII e XIX, época em que as realizações da ciência medieval ainda eram praticamente desconhecidas. No século XX, com a redescoberta dos autores medievais, o lugar destacado de Galileu na história da ciência começou a ser questionado, surgindo a dúvida acerca da afirmação de que o autor italiano foi o fundador da ciência moderna da mecânica, já que alguns teoremas e corolários galileanos já haviam sido enunciados pelos seus predecessores medievais. Observa Grant:

Em alguns dos conceitos e teoremas mais fundamentais relativos ao movimento, Galileu tinha sido antecipado por seus predecessores medievais. Não é mais possível haver dúvidas de que suas contribuições em cinemática, antes consideradas como sendo totalmente originais, foram grosseiramente exageradas, em grande parte porque as interpretações tradicionais das realizações de Galileu, formuladas entre os séculos dezessete e dezenove, foram desenvolvidas em quase total ignorância das conquistas da ciência medieval. Pesquisas cuidadosas e meticulosas no século vinte não apenas revelaram os feitos medievais até então desconhecidos, mas também as levaram em conta na reavaliação do lugar de Galileu na história da ciência. Como consequência, uma nova questão foi colocada. Se os principais teoremas e corolários anteriormente atribuídos a Galileu já haviam sido enunciados na Idade Média, em

⁴⁵⁸ No original: “Oresme’s geometric proof and numerous arithmetic proofs of the mean speed theorem were widely disseminated in Europe during the fourteenth and fifteenth centuries and were especially popular in Italy. Through printed editions of the late fifteenth and early sixteenth centuries, it is quite likely that Galileo became reasonably familiar with them. He made the mean speed theorem the first proposition of the Third Day of his *Discourses on Two New Sciences* where it served as the foundation of the new science of motion. Not only is Galileo’s proof strikingly similar to Oresme’s, but the accompanying geometric figure is virtually identical, despite a 90° reorientation, a reorientation that had already been made by some medieval authors”.

que sentido, se houver algum, pode-se argumentar que Galileu fundou a ciência moderna da mecânica?⁴⁵⁹ (GRANT, 1977, p. 58).

Todavia, Grant reconhece a genialidade de Galileu, observando que ele foi capaz de extrair dos escritos medievais o que era essencial para uma descrição matemática do movimento, elaborando um arcabouço lógico para uma compreensão exata desse fenômeno, bem como o da queda dos corpos. Para Grant, isso basta para garantir a Galileu um espaço dentre os gênios científicos que mudaram os caminhos da ciência. Conclui o autor:

A retificação do registro histórico não diminuiu a estatura e o gênio de Galileu, nem o privou do direito de ser honrado como o fundador da mecânica moderna. Embora Galileu tenha sido antecipado por algumas das contribuições medievais descritas aqui, e tenha sido herdeiro de outras de maneiras que ainda não foram precisamente estabelecidas, sua originalidade e gênio derivaram de uma habilidade excepcional de apreender e extrair o que era diretamente relevante para uma descrição matemática e cinemática do movimento a partir da doutrina medieval difusa e desfocada da intensão e remissão de qualidades. As inumeráveis conclusões e teoremas derivados em tratados sobre a intensão e remissão de qualidades e velocidades durante os séculos quatorze a dezesseis eram pouco mais do que exercícios intelectuais que refletiam a imaginação sutil e a perspicácia lógica dos pensadores escolásticos. Com uma pequena exceção, eles se contentavam em tratar as velocidades como qualidades variáveis e intensivas, separadas do movimento de corpos reais. Oresme, por exemplo, caracterizou as representações geométricas das variações de qualidade como ficções da mente, sem relevância para a natureza. Galileu, em contraste, reuniu todos os conceitos, definições, teoremas e corolários significativos sobre o movimento e os organizou em um todo lógico e ordenado que ele aplicou ao movimento de corpos reais. A aceleração uniforme não era mais um mero conceito definicional, mas uma verdadeira descrição da forma como os corpos caem na natureza. A partir de componentes medievais, ele construiu uma nova ciência da mecânica, que se tornou parte essencial da ciência newtoniana. Tal conquista, isoladamente, seria suficiente para posicionar Galileu no seletivo grupo de gênios científicos que têm, de tempos em tempos, alterado profundamente o caráter e a direção da ciência⁴⁶⁰ (*ibid.*, p. 58-59).

⁴⁵⁹ No original: “On some of the most fundamental concepts and theorems pertaining to motion, Galileo had been anticipated by his medieval predecessors. No longer can it be doubted that his contributions in kinematics, once thought to be wholly original, have been grossly exaggerated, largely because the traditional interpretations of Galileo’s achievements, formulated between the seventeenth and nineteenth centuries, were developed in almost total ignorance of the achievements of medieval science. Careful and painstaking research in the twentieth century has not only uncovered the hitherto unknown medieval accomplishments, but also taken them into account in reevaluating Galileo’s place in the history of science. As a consequence, a new question has been posed. If the major theorems and corollaries formerly attributed to Galileo were already enunciated in the Middle Ages, in what sense, if at all, is it arguable that Galileo founded the modern science of mechanics?”

⁴⁶⁰ No original: “The rectification of the historical record has not diminished Galileo’s stature and genius, nor has it deprived him of the right to be honored as the founder of modern mechanics. Although Galileo had been anticipated by some of the medieval contributions described here, and fell heir to others in ways

5.3 David Lindberg

O historiador da ciência David Lindberg (1935-2015), autor de vários estudos sobre ciência medieval, também escreveu sobre a contribuição de Oresme para o pensamento científico, destacando o caráter geométrico do trabalho do filósofo francês. Segundo Lindberg, os resultados alcançados pelos calculadores de Oxford logo foram transmitidos pela Europa, sendo aperfeiçoados por meio da representação geométrica, que teve Oresme como um dos principais proponentes desse modelo. Sobre isso, diz Lindberg:

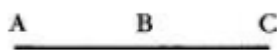
A notícia sobre as conquistas do Merton College na análise das qualidades foi rapidamente transmitida a outros centros intelectuais europeus. Nesse processo, a análise foi enriquecida e esclarecida pelo desenvolvimento da representação geométrica. A análise original das qualidades no Merton College era realizada verbalmente [...]. No entanto, as vantagens da análise geométrica foram reconhecidas, e sistemas bastante elaborados de representação geométrica foram eventualmente elaborados. Um dos primeiros a desenvolver tal sistema foi Giovanni di Casali, um franciscano de Bolonha (que também havia passado um tempo em Cambridge), escrevendo por volta de 1351; uma análise geométrica muito mais elaborada foi formulada por Nicole Oresme (falecido em 1382) na Universidade de Paris, mais tarde na mesma década. Um exame do esquema de Oresme pode ser tão esclarecedor para nós como sem dúvida foi para seus leitores medievais⁴⁶¹ (LINDBERG, 2007, p. 301).

that have yet to be precisely established, his originality and genius derived from an exceptional ability to seize upon and extract what was directly relevant to a mathematical and kinematic description of motion from the diffuse and unfocused medieval doctrine of intension and remission of qualities. The innumerable conclusions and theorems derived in treatises on the intension and remission of qualities and velocities during the fourteenth to sixteenth centuries were little more than intellectual exercises reflecting the subtle imagination and logical acumen of scholastic thinkers. With a minor exception, they were content to treat velocities as variable, intensive qualities divorced from the motion of real bodies. Oresme, for example, characterized geometrical representations of quality variations as fictions of the mind without relevance to nature. Galileo, by contrast, brought together all the significant concepts, definitions, theorems, and corollaries on motion and arranged them into a logical and ordered whole which he applied to the motion of real bodies. Uniform acceleration was no longer a mere definitional concept, but a true description of the way bodies fell in nature. From medieval components he constructed a new science of mechanics which became a vital part of Newtonian science. Such an achievement would alone suffice to rank Galileo with that elite group of scientific geniuses who have, from time to time, profoundly altered the character and direction of science”.

⁴⁶¹ No original: “News of the Merton College achievements in the analysis of qualities was transmitted quickly to other European intellectual centers. In the process, the analysis was enriched and clarified by the development of geometrical representation. The original analysis of qualities at Merton College was carried out verbally [...]. However, the advantages of geometrical analysis were recognized, and fairly elaborate systems of geometrical representation were eventually worked out. One of the first to develop such a system was Giovanni di Casali, a Franciscan from Bologna (who had also spent time in Cambridge), writing about 1351; a far more elaborate geometrical analysis was formulated by Nicole Oresme (d. 1382) at the University of Paris later in the same decade. An examination of Oresme’s scheme may prove as illuminating for us as it no doubt did for his medieval readers”.

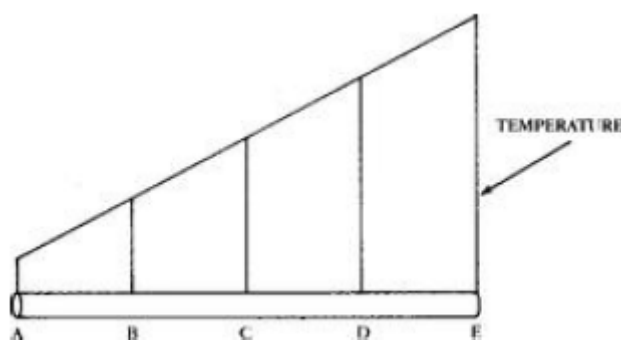
Em seguida, Lindberg explica que, inicialmente, a intensidade de determinada qualidade foi representada por um segmento de reta (Figura 13), figura unidimensional cujo comprimento indica, por exemplo, uma distância. Porém, a simplicidade da figura só permite representar determinadas quantidades (como a metade ou o dobro de algo), e não a intensidade de uma qualidade em qualquer ponto do sujeito. Tal dificuldade foi solucionada com o emprego de uma figura bidimensional, o triângulo (Figura 14) para representar a intensidade de algo em vários pontos como, por exemplo, o aumento ou diminuição progressiva de uma qualidade como a temperatura de uma barra de ferro.

Figura 13



[Fig. 12.2. de LINDBERG, 2007, p. 302]

Figura 14



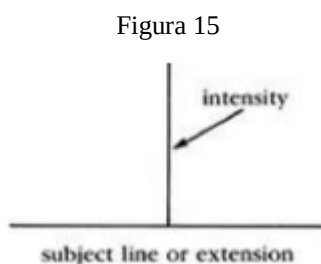
[Fig. 12.3. de LINDBERG, 2007, p. 302]

Nas palavras de Lindberg:

O primeiro passo foi representar a intensidade de uma qualidade por meio de um segmento de reta – um passo relativamente fácil para os estudiosos medievais educados em Aristóteles (que empregava linhas para representar o tempo) e Euclides (que usava linhas para representar grandezas numéricas). Se o segmento de reta AB (fig. 12.2) representa uma dada intensidade de alguma qualidade, então o segmento de reta AC representa o dobro dessa intensidade. Isso é bom, mas ainda não nos levou muito longe. O próximo passo fundamental foi empregar essa reta para representar a intensidade da qualidade em qualquer ponto do sujeito. Considere uma barra AE (fig. 12.3), aquecida diferencialmente, de forma que o calor aumente uniformemente de uma extremidade à outra. No ponto A e em quaisquer intervalos que você escolher, erga uma linha vertical representando a intensidade do calor nesse ponto. Se (como postulamos) a temperatura aumenta uniformemente de A para E, então a figura revelará um prolongamento uniforme das linhas verticais⁴⁶² (LINDBERG, 2007, p. 302).

⁴⁶² No original: “The first step was to represent the intensity of a quality by means of a line segment – a relatively easy step for medieval scholars brought up on Aristotle (who employed lines to represent time) and Euclid (who used lines to represent numerical magnitudes). If line segment AB (fig. 12.2) represents a given intensity of some quality, then line segment AC represents twice that intensity. This is fine, but it has not yet gotten us very far. The critical next step was to employ this line to represent the intensity of the quality at any point of the subject. Take a rod AE (fig. 12.3), heated differentially, so that the heat

Contudo, Oresme tornou o sistema mais abstrato, ao empregar uma linha horizontal para representar o sujeito, e uma linha vertical para representar a intensidade de certa qualidade (Figura 15). Poderíamos pensar, por exemplo, na barra de ferro aquecida paulatinamente, onde a linha horizontal representaria a barra, enquanto a linha vertical representaria a intensidade da temperatura da barra, isto é, sua qualidade.



[Fig. 12.4. de LINDBERG, 2007, p. 302]

Diz Lindberg:

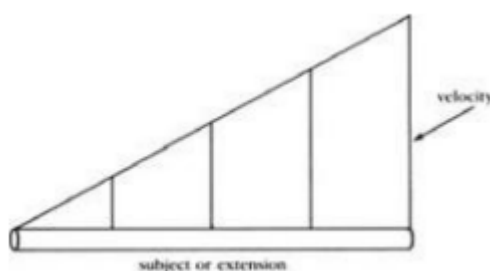
Então Oresme tornou o sistema muito mais abstrato, substituindo o desenho da haste por uma linha horizontal (fig. 12.4). Isto tem o efeito de criar um sistema generalizado de representação, em que a linha horizontal (chamada de “linha do sujeito” ou a “extensão”) representa o sujeito, seja ele qual for, enquanto as linhas verticais representam a intensidade de qualquer qualidade que escolhermos, nos pontos do sujeito onde são erguidas⁴⁶³ (LINDBERG, 2007, p. 302).

A representação geométrica da intensidade das qualidades também pode ser aplicada ao estudo do movimento, de um modo semelhante ao empregado para determinar as diferentes temperaturas da barra de ferro (Figura 14). Nesse caso, a haste representa o objeto em movimento, enquanto as linhas verticais representam as diferentes velocidades alcançadas por este objeto, conforme ilustra a Figura 16:

increases uniformly from one end to the other. At point A and at whatever intervals you choose, erect a vertical line representing the intensity of heat at that point. If (as we have postulated) the temperature increases uniformly from A to E, then the figure will reveal a uniform lengthening of the vertical lines”.

⁴⁶³ No original: “Now Oresme made the system a good deal more abstract by substituting a horizontal line for the drawing of the rod (fig. 12.4). This has the effect of creating a generalized system of representation in which the horizontal line (called the “subject line” or the “extension”) represents the subject, whatever it might be, while vertical lines represent the intensity of any quality we choose at the points of the subject where they are erected”.

Figura 16



[Fig. 12.5. de LINDBERG, 2007, p. 303]

Explica Lindberg:

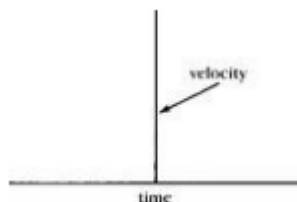
O que Oresme produziu é uma forma de representação geométrica – uma precursora óbvia das técnicas modernas de representação gráfica – em que a forma da figura (como na figura 12.3) nos informa sobre variações na intensidade de uma qualidade sobre o seu sujeito. Mas como fazemos a transição das qualidades em geral para o movimento em particular? Uma maneira é considerar um corpo, cujas diferentes partes se movem com velocidades diferentes; uma haste presa por um pino em uma extremidade e girando em torno desse pino seria um bom exemplo. Nesse caso, podemos desenhar a haste horizontalmente e erguer uma perpendicular em qualquer ponto, indicando a velocidade angular desse ponto. O resultado será uma distribuição de velocidades em um sujeito, como na figura 12.5⁴⁶⁴ (LINDBERG, 2007, p. 303).

Na sequência, Lindberg introduz um caso mais abstrato, consistindo no movimento de um corpo em que todas as suas partes possuem a mesma velocidade, que por sua vez varia conforme o tempo. Nesse caso, a linha horizontal não representa mais o objeto em movimento, mas sim o tempo (Figura 17). Como existem diversas configurações de velocidade em função do tempo, Oresme utiliza diversas figuras geométricas para representar essa relação (Figura 18). Sendo assim, a velocidade uniforme é representada por um retângulo (em que todas as linhas verticais têm o mesmo tamanho), enquanto a velocidade não uniforme é designada por uma série de outras figuras, como o triângulo (velocidade não uniforme com aceleração constante) e formas variadas (velocidade não uniforme com aceleração variável). Por fim, no que

⁴⁶⁴ No original: “What Oresme has produced is a form of geometrical representation – an obvious forerunner of modern graphing techniques – in which the shape of the figure (as in fig. 12.3) informs us about variations in the intensity of a quality over its subject. But how do we make the transition from qualities in general to motion in particular? One way is to consider a body, the different parts of which move with different velocities; a rod held by a pin at one end and rotated about that pin would be a good example. In such a case, we can draw the rod horizontally and erect a perpendicular at any point, indicating the angular velocity of that point. The result will be a distribution of velocities in a subject, as in figure 12.5”.

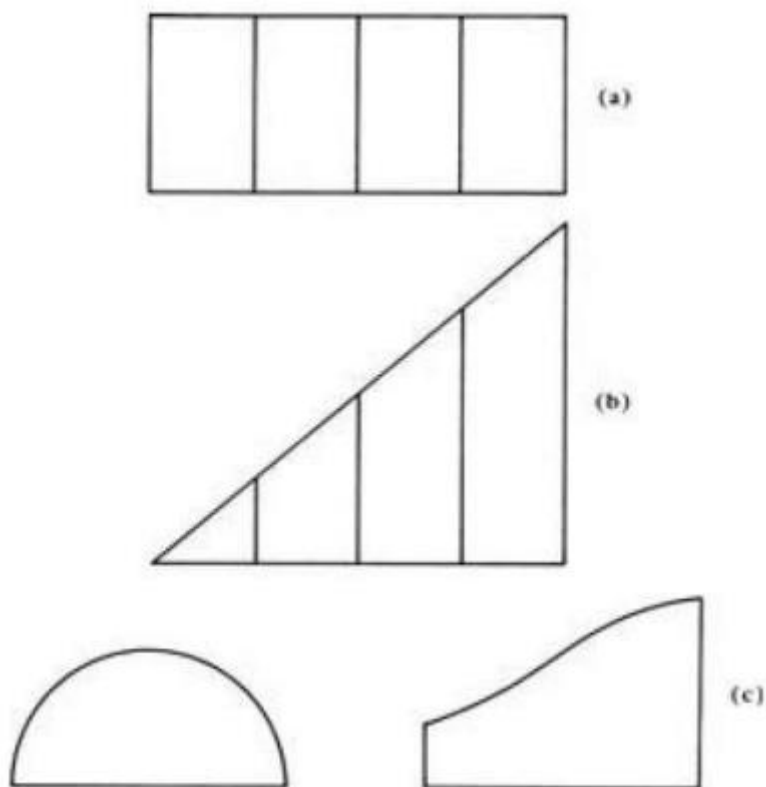
concerne à totalidade da distância percorrida, Oresme identificou-a com a área total da figura.

Figura 17



[Fig. 12.6. de LINDBERG, 2007, p. 303]

Figura 18



[Fig. 12.7. de LINDBERG, 2007, p. 304]

Nas palavras de Lindberg:

Mas há outro caso, mais difícil porque exige um tratamento mais abstrato. Suponha que tenhamos um corpo que se move como uma unidade, todas as suas partes tendo a mesma velocidade, mas uma velocidade que varia ao longo do tempo. A maneira de entender isso, explicou Oresme, é ver que aqui a linha do sujeito não é a extensão de um objeto corpóreo, como nos exemplos anteriores, mas a duração de um movimento local. O tempo torna-se o sujeito, representado pela

linha horizontal. Isso nos dá um sistema de coordenadas primitivo no qual a velocidade pode ser traçada em função do tempo (ver fig. 12.6). Oresme prosseguiu discutindo várias configurações de velocidade em relação ao tempo. A velocidade uniforme será representada por uma figura na qual todas as linhas verticais têm o mesmo comprimento – ou seja, um retângulo. A velocidade não uniforme requer verticais de comprimento variável. Dentro dessa categoria de movimento não uniforme, temos a velocidade uniformemente não uniforme (nosso movimento uniformemente acelerado), representada por um triângulo, e o movimento não uniformemente não uniforme (movimento não uniformemente acelerado), representado por uma variedade de outras figuras, cujas formas são determinadas pelo padrão específico de não uniformidade (ver fig. 12.7). Finalmente, como é que Oresme lidou com aquela outra característica das qualidades mencionadas acima – sua quantidade total? Ele identificou a quantidade total de movimento com a distância percorrida; e isso, ele argumentou, deve ser representado pela área da figura⁴⁶⁵ (LINDBERG, 2007, p. 303-304).

Segundo Lindberg, Oresme não se limitou a propor as representações geométricas para ilustrar o fenômeno do movimento, mas também buscou aplicar tais ferramentas para provar teoremas cinemáticos relativos ao movimento uniforme e uniformemente acelerado. Este último, representado pelo triângulo (Figura 18, b), consistiu no caso mais significativo, embora na época não pudesse ser identificado com um movimento real. Era, na verdade, um problema matemático que despertou a atenção dos estudiosos medievais. Diz Lindberg:

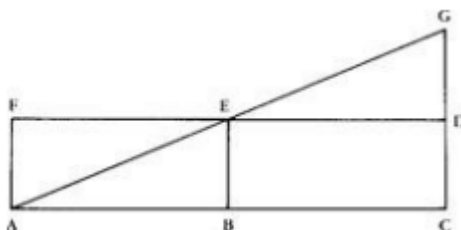
Ele [Oresme] e aqueles que o seguiram não estavam satisfeitos em terem criado as ferramentas geométricas. Eles passaram a usá-las para ilustrar e provar teoremas cinemáticos aplicáveis ao movimento uniforme ou uniformemente acelerado. O caso mais importante foi este último, representado na figura 12.7 (b). Este caso era de especial interesse no século quatorze, não porque fosse identificado com qualquer movimento particular no mundo real, mas porque oferecia um desafio matemático substancial⁴⁶⁶ (*ibid.*, p. 304).

⁴⁶⁵ No original: “But there is another case, more difficult because it requires more abstract treatment. Suppose we have a body that moves as a unit, all of its parts having the same velocity, but a velocity that varies over time. The way to understand this, Oresme explained, is to see that here the subject line is not the extension of a corporeal object, as in the examples above, but the duration of a local motion. Time becomes the subject, represented by the horizontal line. This gives us a primitive coordinate system in which velocity can be plotted as a function of time (see fig. 12.6). Oresme proceeded to discuss various configurations of velocity with respect to time. Uniform velocity will be represented by a figure in which all the vertical lines are of equal length – that is, a rectangle. Nonuniform velocity requires verticals of variable length. Within this category of nonuniform motion, we have uniformly nonuniform velocity (our uniformly accelerated motion), represented by a triangle, and nonuniformly nonuniform motion (nonuniformly accelerated motion), represented by a variety of other figures, the shapes of which are determined by the specific pattern of nonuniformity (see fig. 12.7). Finally, how did Oresme deal with that other feature of qualities noted above – their total quantity? He identified the total quantity of motion with the distance traversed; and this, he argued must be represented by the area of the figure”.

⁴⁶⁶ No original: “He and those who followed him were not content with having created the geometrical tools. They proceeded to use them to illustrate and prove kinematic theorems applicable to uniform or uniformly accelerated motion. The most important case was the latter, represented in figure 12.7(b). This

Em seguida, Lindberg apresenta dois teoremas acerca do movimento uniformemente acelerado⁴⁶⁷. O primeiro deles é o *teorema da velocidade média*⁴⁶⁸, ou seja, a regra segundo a qual um corpo em movimento uniformemente acelerado percorreria a mesma distância caso estivesse em movimento uniforme, desde que com a metade da velocidade alcançada no movimento acelerado. Lindberg apresenta a prova geométrica proposta por Oresme para explicar o teorema (Figura 19). Na figura, o triângulo ACG representa o movimento uniformemente acelerado, enquanto o retângulo ACDF representa o movimento uniforme. Como as duas formas possuem a mesma área, o teorema é provado geometricamente.

Figura 19



[Fig. 12.8. de LINDBERG, 2007, p. 305]

Nas palavras de Lindberg:

O primeiro [teorema] já tinha sido estabelecido, sem prova geométrica ou ilustração, pelos estudiosos de Merton; ele é agora conhecido como a “regra de Merton” ou o “teorema da velocidade média”. Este teorema procura encontrar uma medida para o movimento uniformemente acelerado, comparando-o com o movimento uniforme. O teorema afirma que um corpo movendo-se com um movimento uniformemente acelerado percorre a mesma distância num dado tempo como se estivesse se movendo pelo mesmo período com uma velocidade uniforme igual a sua velocidade média (ou média). Expressa em termos numéricos, a afirmação é que um corpo acelerando uniformemente de uma velocidade de 10 para uma velocidade de 30 percorre a mesma distância como um corpo movendo-se uniformemente pelo mesmo período de tempo com uma velocidade de 20. Então, Oresme forneceu uma simples, mas elegante, prova geométrica deste teorema (fig. 12.8). O movimento uniformemente acelerado pode ser representado pelo triângulo ACG, e

case was of special interest in the fourteenth century, not because it was identified with any particular motion in the real world but because it offered a substantial mathematical challenge”.

⁴⁶⁷ Diz o historiador: “Vamos examinar dois teoremas importantes aplicáveis ao movimento uniformemente acelerado que surgiram desses esforços” (LINDBERG, 2007, p. 304). No original: “Let us examine two important theorems applicable to uniformly accelerated motion that emerged from these efforts”.

⁴⁶⁸ Para uma exposição mais bem detalhada do teorema, consultar o tópico 4.6 na página 199.

sua velocidade média pela linha BE. O movimento uniforme que deve ser comparado com o movimento uniformemente acelerado deve, portanto, ser representado pelo retângulo ACDF (a altura do qual é BE, a velocidade média do movimento uniformemente acelerado). A regra de Merton afirma simplesmente que a distância percorrida pelo movimento acelerado é igual à distância percorrida pelo movimento uniforme. Dado que, nos diagramas de Oresme, a distância percorrida é medida pela área da figura, podemos provar o teorema mostrando que a área do triângulo ACG é igual à área do retângulo ACDF. Uma olhada para as duas figuras revelará que isto é assim⁴⁶⁹ (LINDBERG, 2007, p. 304-305).

O segundo teorema apresentado por Lindberg compara as distâncias percorridas na primeira e segunda metade do movimento. De acordo com esse teorema, a distância percorrida por um objeto em movimento uniformemente acelerado, a partir do repouso, é três vezes maior durante a parte final do deslocamento. Da mesma forma como no caso do teorema da velocidade média, esse segundo teorema pode ser provado por meio da Figura 19, ao se observar que a área do quadrilátero BCGE (que representa a distância percorrida na segunda metade do tempo) é três vezes maior do que a área do triângulo ABE (que representa a primeira parte do deslocamento). Nas palavras de Lindberg:

O segundo teorema, tal como o primeiro, visava elucidar as propriedades matemáticas do movimento uniformemente acelerado por meio de uma comparação envolvendo distâncias percorridas. Neste caso, a distância percorrida na primeira metade de um movimento uniformemente acelerado (partindo do repouso) é comparada à distância percorrida na segunda metade do mesmo movimento; a afirmação era que esta última é três vezes a primeira. Para provar este teorema geometricamente, precisamos apenas mostrar que a área do quadrilátero BCGE (fig. 12.8), que representa a distância percorrida na segunda metade do tempo, BC, é três vezes a área do triângulo ABE, que representa a distância percorrida na

⁴⁶⁹ No original: “The first had already been stated, without geometrical proof or illustration, by the Merton scholars; it is now known as the “Merton rule” or the “mean-speed theorem.” This theorem seeks to find a measure for uniformly accelerated motion by comparing it with uniform motion. The theorem claims that a body moving with a uniformly accelerated motion covers the same distance in a given time as if it were to move for the same duration with a uniform speed equal to its mean (or average) speed. Expressed in numerical terms, the claim is that a body accelerating uniformly from a velocity of 10 to a velocity of 30 traverses the same distance as a body moving uniformly for that same period of time with a velocity of 20. Now Oresme provided a simple but elegant geometrical proof of this theorem (fig. 12.8). The uniformly accelerated motion can be represented by triangle ACG and its mean speed by line BE. The uniform motion that is to be compared with the uniformly accelerated motion must therefore be represented by rectangle ACDF (the altitude of which is BE, the mean speed of the uniformly accelerated motion). The Merton rule claims simply that the distance traversed by the accelerated motion is equal to the distance traversed by the uniform motion. Since, in Oresme’s diagrams, distance traversed is measured by the area of the figure, we can prove the theorem by showing that the area of triangle ACG equals the area of rectangle ACDF. A glance at the two figures will reveal that this is so”.

primeira metade do tempo, AB. Mais uma vez, a inspeção estabelecerá que isso é verdade⁴⁷⁰ (LINDBERG, 2007, p. 305).

Concluindo a sua exposição, Lindberg destaca dois pontos. Primeiramente, o historiador afirma que a cinemática medieval era absolutamente abstrata, de modo que não havia a análise empírica de um movimento real. A abordagem dos pensadores medievais era puramente lógica e matemática, um exercício de raciocínio abstrato desvinculado das ocorrências do mundo real. Diz ele:

Finalmente, dois pontos gerais: Primeiro, devemos nos lembrar que a cinemática medieval era um empreendimento totalmente abstrato – assim como a matemática moderna. Alegou-se, por exemplo, que se um movimento uniformemente acelerado existisse, *então* a regra de Merton aplicar-se-ia a ele. Nenhum estudioso medieval identificou um exemplo de tal movimento no mundo real. Existe uma explicação satisfatória para tal comportamento aparentemente estranho? Sim, existe. Dada a tecnologia disponível na Idade Média (particularmente para a medição do tempo), demonstrar que um movimento particular é uniformemente acelerado teria sido um feito considerável. [...] Mas, talvez o mais importante, os estudiosos medievais que desenvolveram essa análise cinemática eram matemáticos e lógicos; e, não mais do que os matemáticos e lógicos modernos, teriam pensado em mudar seu local de trabalho do escritório para a oficina⁴⁷¹ (*ibid.*, p. 305-306, grifos no original em inglês).

Em segundo lugar, diz Lindberg, a cinemática medieval influenciou a cinemática moderna galileana, especialmente no que diz respeito à utilização, por parte de Galileu, da regra de Merton em seus escritos acerca das duas novas ciências (*Discorsi*). Para Lindberg, Galileu tinha, de fato, conhecimento dos trabalhos desenvolvidos pelos seus antecessores no século XIV. Conclui o historiador:

⁴⁷⁰ No original: “The second theorem, like the first, aimed to elucidate the mathematical properties of uniformly accelerated motion by means of a comparison involving distances traversed. In this case, the distance covered in the first half of a uniformly accelerated motion (beginning from rest) is compared to the distance covered in the second half of the same motion; the claim was that the latter is three times the former. To prove this theorem geometrically, we need merely show that the area of quadrangle BCGE (fig. 12.8), which represents the distance covered in the second half of the time, BC, is three times the area of triangle ABE, representing the distance traversed in the first half of the time, AB. Once again, inspection will establish that this is true”.

⁴⁷¹ No original: “Finally, two general points: First, we must remind ourselves that medieval kinematics was a totally abstract endeavor – much like modern mathematics. It was claimed, for example, that *if* a uniformly accelerated motion were to exist, *then* the Merton rule would apply to it. Never did a medieval scholar identify an instance of such motion in the real world. Is there a satisfactory explanation for such seemingly odd behavior? Yes, there is. Given the technology available in the Middle Ages (particularly for the measurement of time), demonstrating that a particular motion is uniformly accelerated would have been a considerable feat. [...] But perhaps more importantly, the medieval scholars who developed this kinematic analysis were mathematicians and logicians; and no more than modern mathematicians and logicians would they have thought of moving their place of labor from the study to the workshop”.

Em segundo lugar, desse trabalho puramente intelectual surgiu uma nova estrutura conceitual para a cinemática e uma variedade de teoremas (a regra de Merton, por exemplo) que figuraram de forma proeminente na cinemática desenvolvida no século dezessete por Galileu – através de quem entraram na corrente principal da mecânica moderna. A Proposição 1, Teorema 1 da análise de Galileu do movimento uniformemente acelerado em seu *Duas Novas Ciências* é a regra de Merton (ou teorema da velocidade média). É implausível supor que Galileu ignorava seus precursores do século quatorze⁴⁷² (LINDBERG, 2007, p. 306).

5.4. Marshall Clagett

O historiador da ciência americano Marshall Clagett (1916-2005), tradutor do *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum* de Oresme (em que o autor francês apresentou a sua prova geométrica do *teorema da velocidade média*), também destacou as semelhanças entre a obra do filósofo medieval e a de Galileu. De modo particular, Clagett destaca que o tratamento dado por Oresme à regra de Merton é muito semelhante ao de Galileu no que concerne à aceleração uniforme, no Terceiro Dia do diálogo das *Duas Novas Ciências* (*Discorsi*). Diz Clagett, citando Oresme:

[...] devemos notar que as *Questões* [sobre a *Geometria de Euclides*] tratam o teorema de Merton sobre as qualidades e velocidades uniformemente disformes e suas implicações de uma maneira que é surpreendentemente semelhante em forma ao tratamento da aceleração uniforme no “Terceiro Dia” dos *Discorsi* de Galileu. As *Questões* incluem inicialmente a forma convencional da Regra de Merton, que media uma qualidade ou movimento uniformemente disforme pelo seu grau médio (ver Apêndice I, Questão 10, linhas 76-79): “A penúltima [conclusão] é que [...] pode-se provar que uma qualidade uniformemente disforme é igual ao grau médio, isto é, que ela seria tão grande em quantidade quanto se fosse uniforme no grau médio. E isso pode ser provado como para uma superfície.”⁴⁷³ (CLAGETT, 1968b, p. 71).

⁴⁷² No original: “Second, out of this purely intellectual labor came a new conceptual framework for kinematics and a variety of theorems (the Merton rule, for example) that figured prominently in the kinematics developed in the seventeenth century by Galileo — through whom they entered the mainstream of modern mechanics. Proposition 1, theorem 1 of Galileo’s analysis of uniformly accelerated motion in his *Two New Sciences* is the Merton rule (or mean-speed theorem). It is implausible to suppose that Galileo was ignorant of his fourteenth-century forerunners”.

⁴⁷³ No original: “[...] we should note that the *Questions* treats the Merton theorem of uniformly difform qualities and velocities and its implications in a manner that is startlingly similar in form to the treatment of uniform acceleration in the ‘Third Day’ of Galileo’s *Discorsi*. The *Questions* first includes the conventional form of the Merton Rule which measured a uniformly difform quality or motion by its middle degree (see Appendix I, Question 10, lines 76-79): ‘The penultimate [conclusion] is that [...] it can be proved that a quality uniformly difform is equal to the middle degree, i.e., that it would be just as great in quantity as if it were uniform at the middle degree. And this can be proved as for a surface.’”.

De acordo com Clagett, as áreas das superfícies das formas geométricas que correspondem às velocidades⁴⁷⁴ são tidas por Oresme como sendo iguais às distâncias percorridas pelo objeto. Dessa maneira, Oresme antecipou, séculos antes, a ideia que se tornaria o cerne do Teorema I de Galileu⁴⁷⁵, ou seja, a de considerar que as áreas dos retângulos e triângulos utilizados nas demonstrações são equivalentes às distâncias percorridas pelos corpos em movimento. Posteriormente, diz Clagett, Oresme iria propor uma representação geométrica para ilustrar a validade da regra de Merton⁴⁷⁶:

[...] é claro que, quando fala sobre velocidades, ele [Oresme] concebe as áreas das superfícies como representando as distâncias totais percorridas ou, mais precisamente, que as áreas estão na mesma proporção que as distâncias totais percorridas. Fica claro, então, que Oresme [...] compreendeu o que viria a ser o conteúdo do primeiro teorema de Galileu e, como apontamos, Oresme mais tarde acrescentou uma demonstração geométrica formal em seu *De configurationibus*, III.vii.⁴⁷⁷ (CLAGETT, 1968b, p. 71-72).

Segundo Clagett, além de propor uma demonstração geométrica para a regra de Merton, Oresme também apresentou uma proposição muito semelhante ao Teorema II de Galileu⁴⁷⁸, que relaciona os espaços percorridos por um móvel aos quadrados dos tempos. Nas palavras do comentador:

Mas, além da Regra de Merton para qualidades e movimentos uniformemente disformes, Oresme ofereceu em seus primeiros trabalhos uma proposição que é formalmente equivalente ao segundo teorema de Galileu, que relaciona as distâncias aos quadrados dos tempos, uma proposição geralmente considerada como inteiramente original de Galileu. É verdade, contudo, que a proposição de Oresme

⁴⁷⁴ Retângulo para a velocidade uniforme, triângulo para a velocidade uniformemente disforme (isto é, para a velocidade cuja aceleração é constante) e formas diversas para a velocidade disformemente disforme (velocidade cuja aceleração é variada).

⁴⁷⁵ Teorema I – Proposição I acerca do Movimento Naturalmente Acelerado, na Terceira Jornada das Duas Novas Ciências (*Discorsi*) de Galileu (GALILEI, 1985, p. 135-136).

⁴⁷⁶ Ver tópico 4.6 (A prova geométrica do teorema da velocidade média), na página 199.

⁴⁷⁷ No original: “[...] it is clear that when talking about velocities, he conceives of the areas of the surfaces as representing total distances traversed or, more precisely, that the areas are in the same ratio as the total distances traversed. It is then clear that Oresme [...] understood what was to be the substance of Galileo’s first theorem and, as we pointed out, Oresme later added a formal geometric proof in his *De configurationibus*, III.vii.”.

⁴⁷⁸ Teorema II – Proposição II acerca do Movimento Naturalmente Acelerado, na Terceira Jornada das Duas Novas Ciências (*Discorsi*) de Galileu (GALILEI, 1985, p. 136-138).

aplica-se às qualidades, e não diretamente às velocidades⁴⁷⁹ (CLAGETT, 1968b, p. 72).

Em seguida, Clagett explica que tal proposição encontra-se na Questão 13, linhas 44 a 61 (no original em latim) das *Questiones super geometriam Euclidis*. No texto, Oresme diz que, no caso de uma qualidade uniformemente disforme iniciada no ponto zero, a razão entre a qualidade total (representada pela área de um triângulo) e a qualidade correspondente à primeira parte do sujeito (triângulo menor) é igual ao quadrado do número de partes em que o sujeito é dividido. Assim, se um sujeito é dividido em duas partes, a qualidade total é quatro vezes a qualidade correspondente à primeira parte (isto é, 2^2); se o sujeito for dividido em três partes, a qualidade total será nove vezes essa qualidade (3^2), e assim sucessivamente. Na Figura 20, vemos a representação de um sujeito dividido em duas partes, *a* (trapézio) e *b* (triângulo); conforme a regra, a qualidade total é quatro vezes a quantidade expressa por *b*. Se considerarmos a figura inteira, vemos que ela comporta exatamente quatro⁴⁸⁰ triângulos iguais ao triângulo iniciado no ponto zero (isto é, *b*). A Figura 21 mostra um triângulo dividido em três partes, sendo a parte menor (indicada pelo número 1) a primeira parte do sujeito iniciado em zero. Como o triângulo maior foi dividido em três partes, ele deve comportar nove triângulos iguais ao pequeno triângulo indicado pelo número 1, o que de fato ocorre.

Figura 20

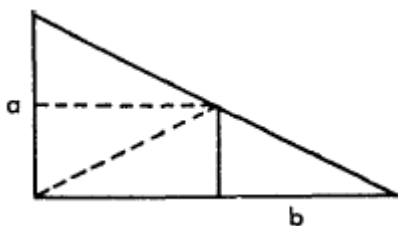
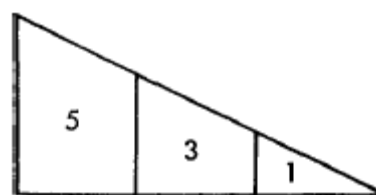


Figura 21



[Respectivamente, Fig. 15 e Fig. 16 das *Questiones*, p. 559]

Nas palavras de Oresme:

⁴⁷⁹ No original: “But in addition to the Merton Rule for uniformly difform qualities and motions, Oresme has given in his early work a proposition that is formally equivalent to Galileo’s second theorem relating the distances to the squares of the times, a proposition usually considered as entirely original with Galileo. It is true, however, that Oresme’s proposition is applied to qualities rather than directly to velocities”.

⁴⁸⁰ Oresme não fala exatamente de contagem de triângulos, mas de proporção entre as áreas. O exemplo utiliza triângulos para ser fiel à representação geométrica empregada por Clagett (Figuras 20 e 21 acima).

A segunda [proposição] é que, no caso de todo sujeito uniformemente disforme [em qualidade] que termina em grau zero, a razão entre a qualidade total e a qualidade de uma parte que termina em grau zero é igual ao quadrado da razão entre o sujeito total e essa parte [do sujeito]. Isso é evidente, em primeiro lugar, porque, pela [proposição] anterior, tais triângulos e tais qualidades são semelhantes. E a razão entre triângulos semelhantes é igual ao quadrado da razão entre um lado e o lado correspondente, conforme VI.17 [dos *Elementos*]; ora, a extensão do sujeito corresponde ao lado do triângulo que representa a qualidade. Disso, a proposição é evidente. Em segundo lugar, é evidente por um exemplo. Suponha que *a* seja uma tal qualidade e *b* sua metade que termina em grau zero. Então, disso, fica evidente que, uma vez que uma razão quádrupla é o dobro de uma razão dupla, e [o sujeito da] qualidade total é o dobro daquela parte [do sujeito], como é evidente na figura, enquanto quatro desses triângulos podem ser feitos no [triângulo] inteiro [ver Fig. 15]. Da mesma forma, deveria ser dito que, se o sujeito fosse três pés, a qualidade total seria 9, e a qualidade do primeiro pé [a partir do grau mais intenso] seria igual a 5 e a dos outros dois [juntos] seria 4 [ver Fig. 16]. Um terceiro argumento para isso é que, pela primeira questão [isto é, a Questão 10], é óbvio que qualquer qualidade desse tipo seria igual ao seu grau médio no que diz respeito à intensidade. Portanto, a intensidade [equivalente] do todo [qualidade uniformemente disforme] é o dobro da intensidade [equivalente] de sua metade; e também a extensão [do todo é o dobro] da extensão [de sua metade]. Daí, pela segunda questão [ou seja, a Questão 11], a razão entre as qualidades é como o quadrado da razão do sujeito para o sujeito. O mesmo método seria utilizado para outras razões⁴⁸¹(ORESME, 1968b, p. 557 e 559).

Voltando a Clagett, ele afirma que o próprio Oresme aplicou tal raciocínio à questão das velocidades em relação ao tempo. Tal leitura pode ser feita substituindo a quantidade da qualidade (na representação geométrica, corresponde à área total do triângulo) por quantidades das velocidades (distâncias percorridas), substituindo-se também os sujeitos das qualidades (representados pela base do triângulo) pelos tempos. Com esse ajuste, diz Clagett, obtém-se o Teorema II de Galileu. Diz o comentador:

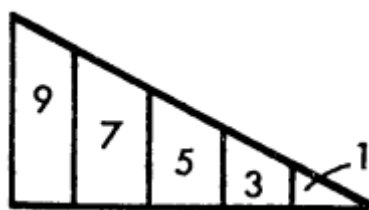
⁴⁸¹ Na tradução em inglês: “The second is that, in the case of every subject uniformly difform [in quality] to no degree, the ratio of the whole quality to the quality of a part terminated at no degree is as the square of the ratio of the whole subject to that part [of the subject]. This is evident in the first place because, by the preceding [proposition], such triangles and such qualities are similar. But the ratio of similar triangles is as the square of the ratio of a side to a corresponding side, by VI. 17 [of the *Elements*], but the extension of the subject is as the side of the triangle designating the quality. From this, the proposition is evident. In the second place, it is evident by an example. Assume *a* is such a quality and *b* its half terminated at no degree. Then it is evident from this, since a quadruple ratio is double a double ratio, and [the subject of] the whole quality is double that part [of the subject], as is evident in the figure, while four such triangles can be made in the whole [triangle] [see Fig. 15]. Similarly it would have to be said that, if the subject were three feet, the whole quality would be as 9, and the quality of the first foot [starting from the most intense degree] would be as 5 and that of the other two [together] as 4 [see Fig. 16]. A third argument for it is, that, by the first question [i.e., Question 10] it is obvious that any such quality would be equal to its middle degree with respect to intensity. Therefore, the [equivalent] intensity of the whole [uniformly difform quality] is twice the [equivalent] intensity of its half; and also the extension [of the whole is twice] the extension [of its half]. Hence by the second question [i.e., Question 11], the ratio of the qualities is as the square of the ratio of subject to subject. One would use the same method for other ratios”.

Oresme, mais adiante na mesma questão (linhas 66-67), observa que se pode falar da mesma maneira “das velocidades em movimentos em relação ao tempo”. Conforme também a Questão 11, linhas 33-35. Portanto, se tal transferência para velocidades for feita de modo que as quantidades das velocidades, isto é, as distâncias totais percorridas, sejam consideradas no lugar das quantidades de qualidades, e seus tempos sejam considerados no lugar dos sujeitos das qualidades, teremos o segundo teorema de Galileu. Além disso, um dos argumentos de Oresme na demonstração da proposição é baseado na Regra de Merton para [formas] uniformemente disformes, tal como a demonstração do segundo teorema de Galileu baseia-se na Regra de Merton⁴⁸² (CLAGETT, 1968b, p. 72).

Ademais, Clagett aponta que Oresme também apresentou, nas *Questiones super geometriam Euclidis*, proposição semelhante ao corolário do Teorema II de Galileu, embora tratasse de “qualidades” e não de “distâncias”, conforme faz o texto galileano:

Finalmente, deve ser observado que Oresme também apresentou nas *Questões* uma proposição equivalente ao corolário de Galileu ao Teorema II, sustentando que, no caso de aceleração uniforme a partir do repouso, as distâncias percorridas em períodos de tempo iguais e consecutivos estão como os números ímpares: 1, 3, 5, 7,... Novamente, deve-se notar que Oresme formulou a proposição em termos de qualidades (Questão 14, linhas 28-31): “A segunda conclusão é que, com um sujeito assim dividido [em partes iguais] e com a parte mais remissa designada como a primeira parte, a razão das qualidades parciais, isto é, sua relação mútua, é como a série de números ímpares, onde o primeiro é 1, o segundo 3, o terceiro 5, etc., como está evidente na figura”⁴⁸³ (*ibid.*, p. 72-73).

Figura 22



[CLAGETT, 1968b, p. 72]

⁴⁸² No original: “Oresme later in the same question (lines 66-67) notes that one can speak in the same way ‘of velocities in motions with respect to time’. Cf. also Question 11, lines 33-35. Hence, if such a transfer to velocities is made so that the quantities of the velocities, i.e., their total distances traversed, are considered in the place of quantities of qualities, and their times are considered in place of subjects of qualities, we will have Galileo’s second theorem. Furthermore, one of Oresme’s arguments in proof of the proposition is based on the Merton Rule for uniformly difform, just as Galileo’s proof of his second theorem is based on the Merton Rule”.

⁴⁸³ No original: “Finally, it should be remarked that Oresme also has given in the *Questions* a proposition equivalent to Galileo’s corollary to Theorem II holding that in the case of uniform acceleration from rest the distances traversed in equal, consecutive time periods are as the odd numbers: 1, 3, 5, 7,... Again, it should be noted that Oresme has framed the proposition in terms of qualities (Question 14, lines 28-31): ‘The second conclusion is that, with a subject so divided [into equal parts] and with the most remiss part designated as the first part, the ratio of the partial qualities, i.e., their mutual relationship, is as the series of odd numbers where the first is 1, the second 3, the third 5, etc., as is evident in the figure’”.

Conforme explica Clagett, Oresme deve ter percebido que tal proposição referente aos números ímpares também era aplicável às distâncias percorridas. Além disso, Clagett recorda que a origem dessa regra pode remontar aos estudos no Merton College, quando os “calculadores” provaram que um objeto em movimento uniformemente acelerado, partindo do repouso, percorre um espaço três vezes maior na parte final do movimento do que percorrera na parte inicial⁴⁸⁴. Diz o comentador:

A demonstração de Oresme [...] remonta, em última análise, à proposição que relaciona as quantidades das qualidades aos quadrados das linhas do sujeito. Da mesma forma, Galileu provou seu corolário por meio de seu Teorema II, relacionando distâncias aos quadrados dos tempos. Deve-se presumir que Oresme também teria reconhecido que sua proposição era válida para as distâncias percorridas, visto que ao longo da obra ele salienta a aplicabilidade de suas proposições às velocidades, assim como às qualidades. E, de fato, o primeiro passo para o teorema do número ímpar de Oresme foi dado pelos autores do Merton College, no contexto das velocidades, quando eles provaram que um corpo acelerado uniformemente a partir do repouso percorre três vezes mais espaço na segunda metade do tempo do que na primeira⁴⁸⁵ (CLAGETT, 1968b, p. 73).

Dada a semelhança entre as conclusões de Galileu e o trabalho de seus predecessores, poder-se-ia cogitar que o autor italiano tenha lido as *Questiones* de Oresme. Contudo, segundo Clagett, não há evidências que corroborem a tese de que Galileu tivesse conhecimento desse trabalho, embora ele tenha sido o herdeiro de uma tradição de pensamento científico e filosófico iniciada no Merton College. Conclui o pesquisador:

Em vista do fato de que Oresme extraiu consequências muito semelhantes da Regra de Merton, assim como Galileu, e em vista do fato adicional que a ordem e o conteúdo das demonstrações nos dois autores são essencialmente os mesmos, podemos muito bem perguntar se Galileu leu as *Questões* de Oresme. [...] posso afirmar neste ponto que não há evidências de que Galileu conhecesse esta obra, embora

⁴⁸⁴ Sobre isso, consultar o tópico 3.3.2 (William Heytesbury), nomeadamente as páginas 150 e 151 deste trabalho.

⁴⁸⁵ No original: “Oresme’s proof [...] goes back ultimately to the proposition relating the quantities of the qualities to the squares of the subject lines. Similarly, Galileo proved his corollary by means of his Theorem II relating distances to the squares of the times. One must presume that Oresme would also have recognized that his proposition held for the distances traversed, since throughout the work he stresses the applicability of his propositions to velocities as well as qualities. And, in fact, the first step towards Oresme’s odd-number theorem was taken by the Merton College authors in the context of velocities when they proved that a body uniformly accelerated from rest traverses three times as much space in the second half of the time as in the first”.

[...] ele fosse claramente o herdeiro da doutrina da configuração geral e da cinemática do Merton College⁴⁸⁶ (CLAGETT, 1968b, p. 73).

Mais adiante, Clagett diz que se pode questionar acerca de como Galileu tomou conhecimento da *doutrina da configuração*⁴⁸⁷, utilizada por ele para demonstrar o teorema da aceleração uniforme (Teorema I – Proposição I) nos *Discorsi*, teorema que serviu de base para o Teorema II, acerca da relação entre os espaços percorridos por um corpo em movimento uniformemente acelerado, a partir do repouso. Atento à precisão histórica, Clagett afirma não haver nenhuma evidência de que o autor italiano tenha tido contato com a obra de Oresme:

Ao chegarmos no século dezesseis, a questão principal que podemos fazer diz respeito à possível fonte ou fontes pelas quais Galileu pode ter aprendido sobre a doutrina da configuração. Não restam dúvidas de que Galileu foi, de alguma forma, herdeiro da doutrina medieval, como Duhem afirmou há cerca de cinquenta anos. O uso da doutrina da configuração por Galileu está mais proveitosamente presente em sua demonstração do teorema fundamental da aceleração uniforme (Teorema I, Proposição I) no “Terceiro Dia” de seus *Discursos e demonstrações matemáticas sobre duas novas ciências*, onde Galileu estabelece o teorema da aceleração do Merton College de forma ligeiramente diferente e fornece uma demonstração geométrica

⁴⁸⁶ No original: “In view of the fact that Oresme drew much the same consequences from the Merton Rule as did Galileo, and in view of the further fact that the order and substance of proofs in the two authors is essentially the same, we might well ask whether Galileo read Oresme’s *Questions*. [...] I can say at this point that there is no evidence that Galileo did know this work, although [...] he was clearly the heir of the general configuration doctrine and the Merton College kinematics”.

⁴⁸⁷ Segundo Clagett, o significado primitivo, para Oresme, da palavra *configuratio* é que tal termo “refere-se ao uso ficcional e imaginativo de figuras geométricas para representar ou desenhar intensidades em qualidades e velocidades em movimentos. Assim, a linha de base de tais figuras é o sujeito quando estamos falando sobre qualidades lineares ou o tempo quando falamos de velocidades, e as perpendiculares traçadas sobre a linha de base representam as intensidades da qualidade de ponto a ponto no sujeito ou representam a velocidade de instante a instante no movimento. A figura inteira, composta de todas as perpendiculares, representa a distribuição total de intensidades na qualidade, isto é, a quantidade da qualidade ou, no caso do movimento, a chamada velocidade total, dimensionalmente equivalente ao espaço total percorrido em um determinado tempo. Uma qualidade de intensidade uniforme é, portanto, representada por um retângulo, que é sua *configuração*; uma qualidade de intensidade uniformemente não uniforme, partindo de intensidade zero, é representada quanto à sua configuração por um triângulo retângulo. Da mesma forma, movimentos de velocidade uniforme e aceleração uniforme são representados, respectivamente, por um retângulo e um triângulo retângulo” (CLAGETT, 1968b, p. 15). No original: “it refers to the fictional and imaginative use of geometrical figures to represent or graph intensities in qualities and velocities in motions. Thus the base line of such figures is the subject when we are talking about linear qualities or the time when we are talking about velocities, and the perpendiculars raised on the base line represent the intensities of the quality from point to point in the subject or represent the velocity from instant to instant in the motion. The whole figure, consisting of all the perpendiculars, represents the whole distribution of intensities in the quality, i.e., the quantity of the quality, or in case of motion the so-called total velocity, dimensionally equivalent to the total space traversed in the given time. A quality of uniform intensity is thus represented by a rectangle, which is its *configuration*; a quality of uniformly non-uniform intensity starting from zero intensity is represented as to its configuration by a right triangle. Similarly, motions of uniform velocity and uniform acceleration are represented respectively by a rectangle and a right triangle”.

empregando um triângulo retângulo para representar a aceleração uniforme a partir do repouso e um retângulo para representar o movimento uniforme à velocidade do instante médio do período de aceleração. O Teorema I afirma: “O tempo em que um determinado espaço é percorrido por um corpo em movimento uniformemente acelerado a partir do repouso é igual ao tempo em que o mesmo espaço seria percorrido pelo mesmo corpo movendo-se com uma velocidade uniforme cujo grau de velocidade seja metade do grau de velocidade máximo e final do movimento uniformemente acelerado original.” Este teorema é a base da demonstração de seu célebre segundo teorema: “Se algum corpo desce a partir do repouso com um movimento uniformemente acelerado, os espaços percorridos em qualquer instante por esse corpo estão relacionados entre si na razão dupla desses mesmos tempos, ou seja, como os quadrados desses tempos.” Aliás, o uso de um triângulo retângulo para a aceleração uniforme e um retângulo para o movimento uniforme também desempenha um papel importante na explicação (*spiegatura*) de Salviati do primeiro corolário desse teorema, que afirmava que, em aceleração uniforme a partir do repouso, os espaços percorridos em qualquer número de períodos de tempo iguais e consecutivos a partir do primeiro instante do movimento “estarão relacionados entre si como os números ímpares, começando com a unidade, isto é, 1, 3, 5, 7....” Já comentei sobre a notável semelhança do tratamento da Regra de Merton por Oresme nas *Questões sobre a Geometria de Euclides* com o de Galileu. Não há, contudo, qualquer evidência de que Galileu estava familiarizado com qualquer um dos manuscritos do texto de Oresme, embora todos os três manuscritos existentes sejam de procedência italiana. Portanto, devemos procurar em outro lugar pela fonte de influência sobre Galileu⁴⁸⁸ (CLAGETT, 1968b, p. 103-104).

Conforme demonstra a passagem acima, Clagett não está de acordo com a tese de que Galileu tenha lido Oresme, o que, naturalmente, não impede que este último tenha sido precursor do primeiro, devido às suas contribuições para a ciência medieval.

⁴⁸⁸ No original: “As we come into the sixteenth century, the principal question we can ask concerns the possible source or sources from which Galileo might have learned of the configuration doctrine. There can be little doubt that Galileo was in some fashion the heir of the medieval doctrine, as Duhem asserted some fifty years ago. Galileo’s use of the configuration doctrine is most fruitfully present in his proof of the fundamental uniform acceleration theorem (Theorem I, Proposition I) in the ‘Third Day’ of his *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze*, where Galileo states the Merton College acceleration theorem in slightly different form and gives a geometric proof employing a right triangle to represent uniform acceleration from rest and a rectangle to represent uniform motion at the speed of the middle instant of the period of acceleration. Theorem I states: ‘The time in which a certain space is traversed by a moving body uniformly accelerated from rest is equal to the time in which the same space would be traversed by the same body traveling with a uniform speed whose degree of velocity is one-half of the maximum, final degree of velocity of the original uniformly accelerated motion.’ This theorem is the basis of the proof of his celebrated second theorem: ‘If any body descends from rest with a uniformly accelerated motion, the spaces traversed in any times at all by that body are related to each other in the duplicate ratio of these same times, that is to say, as the squares of these times.’ Incidentally, the use of a right triangle for uniform acceleration and a rectangle for uniform motion also plays an important part in Salviati’s explanation (*spiegatura*) of the first corollary to that theorem which held that in uniform acceleration from rest the spaces traversed in any number of equal and consecutive time periods starting from the first instant of motion ‘will be related to each other as the odd numbers beginning with unity, i.e., 1, 3, 5, 7....’ I have already commented on the remarkable similarity of Oresme’s treatment of the Merton Rule in the *Questions on the Geometry of Euclid* with that of Galileo. There is, however, no evidence whatsoever that Galileo was familiar with any of the manuscripts of the Oresme text, although all three of the extant manuscripts are of Italian provenience. Hence we should look elsewhere for the source of influence on Galileo”.

5.5 Walter Roy Laird

Em seu capítulo intitulado “Mudança e Movimento”⁴⁸⁹, publicado no volume 2 (Ciência Medieval)⁴⁹⁰ do *The Cambridge History of Science*, o professor de história medieval e da ciência da Carleton University (Canadá)⁴⁹¹ Walter Roy Laird (1950-) recapitula as contribuições de Oresme para o desenvolvimento da ciência ocidental. Assim como alguns dos seus predecessores, o professor Laird destaca que Oresme foi responsável pelo maior aprimoramento dos resultados obtidos em Oxford, ao propor uma representação gráfica para as qualidades e velocidades. Segundo Laird, apesar de Oresme talvez não ter sido o primeiro a desenvolver tal método, a sua contribuição foi significativa, permitindo um avanço considerável em relação aos “calculadores” do Merton College, que representavam as intensidades das qualidades e velocidades unidimensionalmente, enquanto o filósofo francês fazia uso de figuras geométricas para alcançar o resultado. Diz Laird:

Tal como o teorema de Bradwardine, os métodos e resultados dos outros calculadores de Oxford espalharam-se pelo continente durante a geração seguinte, aparecendo sobretudo na Universidade de Paris, nas obras de Alberto da Saxônia, Nicole Oresme e Marsílio de Inghen. A adição mais significativa às sutilezas de Oxford foi a representação gráfica de qualidades e velocidades por Nicole Oresme, incluindo uma demonstração gráfica do teorema da velocidade média. Embora o método de representar qualidades graficamente talvez tenha ocorrido primeiro em *Sobre a Velocidade de Alteração*, de Giovanni di Casali, datado de 1346 em um manuscrito, Oresme, na mesma época ou um pouco mais tarde, desenvolveu um método gráfico de considerável poder e flexibilidade. Enquanto os calculadores de Oxford tinham representado as intensidades de qualidades e velocidades com linhas de vários comprimentos, Oresme, em seu *Sobre a Configuração das Qualidades*, representou-as com figuras de duas ou mais dimensões⁴⁹² (LAIRD, 2013, p. 430).

⁴⁸⁹ No original: “Change and Motion”.

⁴⁹⁰ No original: “Medieval Science”.

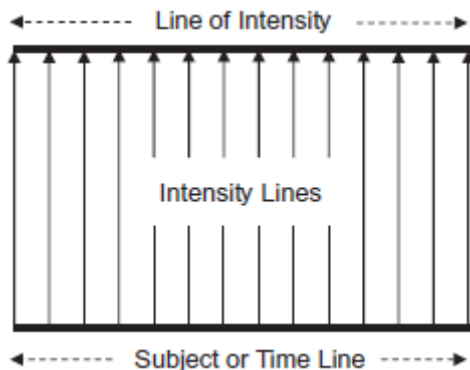
⁴⁹¹ Ver nota biográfica acerca do pesquisador na página xix do volume 2 do *The Cambridge History of Science*.

⁴⁹² No original: “Like Bradwardine’s theorem, the methods and results of the other Oxford calculators spread to the continent over the next generation, appearing most notably at the University of Paris in the works of Albert of Saxony, Nicole Oresme, and Marsilius of Inghen. The most significant addition to the Oxford subtleties was Nicole Oresme’s graphical representation of qualities and speeds, including a graphical proof of the mean-speed theorem. Although the method of representing qualities graphically perhaps occurred earliest in Giovanni di Casali’s *On the Speed of Alteration*, dated 1346 in one manuscript, Oresme, at about the same time or somewhat later, developed a graphical method of considerable power and flexibility. Whereas the Oxford calculators had represented the intensities of

No que concerne à maneira como Oresme buscou representar tais intensidades em seu modelo bidimensional, havia a utilização de uma linha horizontal (chamada de “linha do sujeito”), que representava o corpo sobre o qual a intensidade ou a velocidade seria medida; enquanto isso, essas últimas eram representadas por meio de linhas verticais. Ademais, havia uma terceira linha, que ligava os topos das linhas de intensidade, definindo o que Oresme entendia como a *configuração da qualidade*. Qualidades uniformes eram representadas por um retângulo, e as disformes que iniciavam no ponto zero eram visualizadas através de um triângulo. Prossegue Laird:

Uma linha horizontal – chamada linha do sujeito – representava o sujeito ou corpo, de cada ponto da qual erguia-se uma linha vertical representando a intensidade de alguma qualidade nesse ponto (ver Figuras 17.1 e 17.2). A linha unindo os topos das linhas de intensidade – chamada a linha do topo ou linha da intensidade – definia o que Oresme chamou a configuração da qualidade. No caso de uma qualidade uniforme ao longo do comprimento da linha do sujeito, a configuração é retangular (Figura 17.1); no caso de uma qualidade que aumenta uniformemente do zero em uma extremidade da linha do sujeito até alguma intensidade finita na outra, ela é triangular (ver Figura 17.2), e assim por diante⁴⁹³ (LAIRD, 2013, p. 430).

Figura 23

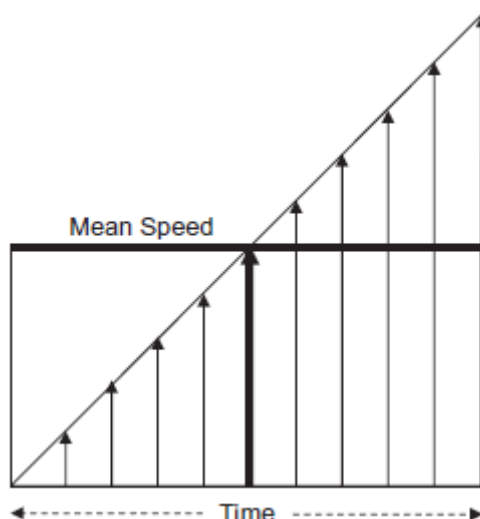


[Fig. 17.1. de LAIRD, 2013, p. 431]

qualities and speeds with lines of various lengths, Oresme, in his *On the Configuration of Qualities*, represented them with figures of two or more dimensions”.

⁴⁹³ No original: “A horizontal line – called the subject line – represented the subject or body, from each point of which was raised a vertical line representing the intensity of some quality at that point (see Figures 17.1 and 17.2). The line joining the tops of the intensity lines – called the line of summit or line of intensity – defined what Oresme called the configuration of the quality. In the case of a quality uniform over the length of the subject line, the configuration is rectangular (Figure 17.1); in the case of a quality uniformly increasing from zero at one end of the subject line to some finite intensity at the other, it is triangular (see Figure 17.2), and so on”.

Figura 24



[Fig. 17.2. de LAIRD, 2013, p. 431]

Em relação à aplicabilidade de sua ideia ao estudo do movimento, Oresme empregava a linha horizontal (sujeito) para indicar o tempo, enquanto as linhas verticais (intensidades) indicavam as velocidades alcançadas por um móvel através de um determinado período. Dessa forma, o retângulo representava o movimento uniforme e o triângulo era usado para indicar um movimento uniformemente acelerado. A área total da figura foi interpretada como a velocidade total, que era equivalente à distância percorrida. Nas palavras de Laird:

Oresme também utilizou a linha do sujeito para representar o tempo de um movimento e as linhas de intensidade para representar sua velocidade em cada instante. Um movimento uniforme é, assim, representado por um retângulo, e um movimento uniformemente acelerado por um triângulo retângulo. Oresme chamou a área de tal figura de velocidade total do movimento, já que ela é composta de todo o número infinito de linhas de velocidade no seu interior. Ele também reconheceu que a velocidade total era dimensionalmente equivalente à distância percorrida pelo movimento⁴⁹⁴ (LAIRD, 2013, p. 430-431).

Conforme explica Laird, a utilização dessas figuras geométricas para representar os movimentos uniforme e uniformemente acelerado resulta no teorema da velocidade média e na regra da distância. O teorema é deduzido do fato de que a área do triângulo

⁴⁹⁴ No original: “Oresme also used the subject line to represent the time of a motion and the intensity lines to represent its speed at each instant. A uniform motion is thus represented by a rectangle, and a uniformly accelerated motion by a right triangle. Oresme called the area of such a figure the total velocity of the motion since it is composed of all the infinite number of velocity lines within it. He also recognized that the total velocity was dimensionally equivalent to the distance traversed by the motion”.

retângulo equivale à área de um retângulo com a mesma base, mas metade da altura. Quanto à regra da distância, ela decorre da observação de que a área do triângulo que representa a metade mais lenta do movimento⁴⁹⁵ equivale a um quarto da área da figura inteira, de modo que a metade mais rápida representa três quartos do triângulo. Ademais, Laird destaca o caso da sequência dos números ímpares, afirmando que se Oresme a tivesse aplicado às distâncias percorridas em tempos iguais por um movimento uniformemente acelerado, ele teria enunciado a regra que, anos depois, seria proclamada por Galileu. Diz o historiador:

Disto, segue-se imediatamente o teorema da velocidade média e a regra da distância, pois é evidente que a área de um triângulo retângulo, representando a intensidade total de uma qualidade distribuída uniformemente de maneira disforme do zero à alguma intensidade é igual à do retângulo com a mesma base e metade da altura, representando uma qualidade uniforme no grau médio. E como a área do triângulo que representa a metade mais lenta do movimento é um quarto da área do triângulo inteiro que representa o movimento todo, a regra da distância – que a distância percorrida na metade mais rápida do movimento é três vezes aquela percorrida na [metade] mais lenta – também é confirmada. Em suas *Questões sobre os Elementos de Euclides*, Oresme, com efeito, generalizou a regra da distância, mostrando que para qualidades em uma distribuição uniformemente disforme de zero a alguma intensidade, a intensidade total em cada parte igual sucessiva do sujeito segue a sequência dos números ímpares (1, 3, 5, etc.). Se Oresme tivesse demonstrado isso especificamente para tempos iguais em um movimento uniformemente acelerado, ele teria expressado a regra dos números ímpares – que distâncias percorridas em tempos iguais variam como os números ímpares – o que mais tarde provaria ser uma proposição central na nova ciência do movimento de Galileu⁴⁹⁶ (LAIRD, 2013, p. 431-432).

Por fim, Laird esclarece que Oresme não pretendia desenvolver uma cinemática, mas apenas explicar determinados fenômenos físicos inesperados. O autor francês reconhecia o caráter imaginário das configurações propostas, não se baseando em

⁴⁹⁵ A metade mais lenta do movimento pode ser a metade inicial (se o movimento começou no grau zero de velocidade) ou a final (caso o movimento inicie no ponto de sua velocidade máxima).

⁴⁹⁶ No original: “From this the mean-speed theorem and the distance rule immediately follow, for it is evident that the area of a right triangle, representing the total intensity of a quality distributed uniformly difformly from zero to some intensity, is equal to that of the rectangle on the same base with half the altitude, representing a uniform quality at the mean degree. And since the area of the triangle representing the slower half of the motion is one-fourth the area of the whole triangle representing the whole motion, the distance rule – that the distance covered in the faster half of the motion is three times that covered in the slower – is also confirmed. In his *Questions on Euclid’s Elements*, Oresme in effect generalized the distance rule, showing that for qualities in a uniformly difform distribution from zero to some intensity, the total intensity in each successive equal part of the subject follows the sequence of the odd numbers (1, 3, 5, etc.). If Oresme had demonstrated this specifically for equal times in a uniformly accelerated motion, he would have expressed the odd-numbers rule – that distances covered in equal times vary as the odd numbers – which would later prove to be a central proposition in Galileo’s new science of motion”.

nenhum fenômeno real para elaborar suas construções matemáticas. Era, sobretudo, uma tentativa de classificar diversos tipos de movimentos que, em tese, poderiam ocorrer, e não uma descrição real da natureza. Conclui Laird:

O principal objetivo da configuração de qualidades de Oresme não era desenvolver uma cinemática, contudo, mas sim explicar efeitos físicos surpreendentes e inesperados, apelando não só à intensidade de uma qualidade em um sujeito, mas também à sua configuração. Ele reconheceu explicitamente que essas configurações eram imaginárias ou hipotéticas, e, ao elaborá-las, não se baseou em nenhuma medição real. Sua extensão da teoria da configuração do movimento parece ter sido um legado dos calculadores de Oxford, onde o movimento era um dos muitos tópicos em filosofia natural que forneciam material para os paradoxos e desafios lógicos que compunham os *sofismas* do currículo de artes. E, em geral, os filósofos naturais do século quatorze estavam mais preocupados em classificar tipos de movimentos uniformes e disformes e em compilar soluções para várias situações hipotéticas do que em descobrir a forma como as coisas ocorrem na natureza⁴⁹⁷ (LAIRD, 2013, p. 432).

5.6 Thomas Kuhn

O filósofo americano Thomas Kuhn (1922-1996), em seu livro *A Revolução Copernicana*⁴⁹⁸, caracteriza Oresme como um dos críticos escolásticos de Aristóteles. Segundo Kuhn, o *Le Livre du ciel et du monde* de Oresme pode ser caracterizado como uma antecipação do pensamento copernicano. Diz ele:

Antecipações importantes do pensamento de Copérnico podem ser encontradas, por exemplo, no comentário crítico ao texto *Dos Céus*, de Aristóteles, escrito no século XIV por Nicolau Oresme, um membro da importante escola nominalista de Paris. O método de Oresme é tipicamente escolástico. No seu longo manuscrito, o texto de Aristóteles é dividido em fragmentos, cada um com algumas frases completas, e estes fragmentos estão entremeados com longas críticas ou com comentários explicativos (KUHN, 2002, p. 131-132).

⁴⁹⁷ No original: “The main purpose of Oresme’s configuration of qualities was not to develop a kinematics, however, but rather to explain surprising and unexpected physical effects by appealing not simply to the intensity of a quality in a subject but also to its configuration. He explicitly recognized that these configurations were imaginary or hypothetical, and in devising them he did not rely on any actual measurements. His extension of configuration theory to motion seems to have been a legacy from the Oxford calculators, where motion was one of many topics in natural philosophy that provided material for the paradoxes and logical puzzles that made up the *sophismata* of the arts curriculum. And, in general, natural philosophers from the fourteenth century on were more concerned with classifying types of uniform and difform motions and compiling solutions to various hypothetical situations than with discovering the way things occur in nature”.

⁴⁹⁸ Utilizou-se a tradução portuguesa da obra de Kuhn, de modo que as citações estão de acordo com o português empregado em Portugal. Por esse motivo, alguns termos podem apresentar grafia diferente da usual, mas nada que interfira na compreensão das passagens destacadas.

Conforme destaca Kuhn, Oresme concordou com Aristóteles na maioria das teses importantes contidas no *De caelo*, mas não deixou de tecer críticas ao pensamento do Estagirita, propondo novas interpretações que, no entanto, não foram acolhidas por boa parte dos seus contemporâneos. Todavia, as teses de Oresme foram discutidas, e seu conteúdo abriu caminho para que se cogitasse a possibilidade do movimento terrestre:

Ao terminar o trabalho⁴⁹⁹, o leitor descobre que Oresme concorda com Aristóteles em quase todos os pontos substantivos, excepto na Criação. Mas as razões para a sua concordância não são muito claras; a crítica brilhante de Oresme derrotou muitas das provas de Aristóteles e sugeriu alternativas importantes para uma quantidade de posições aristotélicas. Estas alternativas raramente foram adoptadas pelos próprios escolásticos. Mas os eruditos medievais continuaram a discuti-las, e essa discussão ajudou a criar um clima de opinião no qual os astrónomos podiam imaginar experiências com a ideia de uma Terra móvel (KUHN, 2002, p. 132).

Entretanto, pondera Kuhn, Oresme não afirma acreditar na rotação da Terra; todavia, o autor francês afirmou a inexistência de qualquer argumento que infirme a hipótese da mobilidade terrestre. Para Oresme, o critério a ser empregado na escolha de qual tese acreditar é unicamente o da fé. Diz Kuhn:

Antecipações ainda mais importantes dos argumentos de Copérnico emergem quando Oresme critica a refutação de Aristóteles contra Heraclides, o *Pitagórico*, que explicara o movimento diurno das estrelas declarando a existência de uma rotação axial para leste da Terra central. Oresme não acredita que a Terra gire, pelo menos assim o diz. Mas preocupa-se em mostrar que a escolha entre uma Terra fixa ou rotativa deve depender da fé. Nenhum argumento, diz ele, seja lógico, físico ou mesmo das Escrituras, pode refutar a possibilidade da rotação diurna da Terra. Por exemplo, nada pode ser concluído a partir do movimento aparente das estrelas (*ibid.*, p. 132).

Segundo Kuhn, Oresme não levaria em consideração o movimento das estrelas porque, para ele, o movimento é *relativo*, ou seja, depende da posição de um corpo em relação a outro. Assim, um movimento só seria percebido se um dos corpos estivesse parado e o outro se movendo. Se ambos os corpos se deslocam, o movimento torna-se imperceptível, desde que tais movimentos sejam idênticos. Caso um homem estivesse a bordo de um barco em movimento, parecer-lhe-ia estar em repouso, e aquilo que está em repouso (uma árvore, por exemplo) aparentaria movimento. Assim, para Oresme, se os céus estivessem em movimento e a Terra estática, perceberíamos o movimento

⁴⁹⁹ Ou seja, o *Le Livre du ciel et du monde*.

celeste; contudo, se fosse o contrário, o céu parado e a Terra em movimento, continuaríamos vendo o céu se mover, sendo que na verdade nós que estaríamos em movimento junto com a Terra. Sobre isso, Kuhn cita a seguinte passagem do *Le Livre du ciel et du monde*:

[...] o movimento local só pode ser percebido quando um corpo altera a sua posição em relação a outro. Assim sendo, se um homem dentro de um barco *a*, que se move ora lenta ora rapidamente, só conseguirá ver um segundo barco *b*, que se move exactamente do mesmo modo que *a*,... então dirá que lhe parecerá que nenhum barco se mexeu. E se *a* está em repouso e *b* se deslocar, parecer-lhe-á que *b* se mexe: e se for *a* que se desloca e *b* estiver em repouso ainda lhe parecerá que *a* está em repouso e *b* em movimento... Portanto, digo que se a mais alta [ou celestial] das duas partes do universo acima mencionada fosse hoje movida com um movimento diurno, como acontece, enquanto a mais baixa [ou terrestre] permanecesse em repouso, e se amanhã, pelo contrário, a parte mais baixa se movesse diariamente enquanto a outra parte, isto é, o céu estivesse em repouso, não seríamos capazes de ver qualquer alteração e tudo pareceria na mesma hoje e amanhã. Parecer-nos-ia que a nossa localização estava em repouso enquanto a outra parte do universo se mexia, tal como parece ao homem que vai num barco em movimento que as árvores da margem estão em movimento (ORESME *apud* KUHN, 2002, p. 132-133).

Conforme explica Kuhn, trata-se do argumento da relatividade, que também está presente nos escritos copernicano-galilaicos. Entretanto, diz o comentador, Oresme foi além, insurgindo-se contra o argumento aristotélico a favor da imobilidade terrestre baseado no lançamento de um objeto que sempre retorna ao ponto inicial. Diz Kuhn:

Este é o argumento da relatividade óptica que desempenha um papel tão importante nos textos de Copérnico e Galileu. Oresme, no entanto, não se ficou por aqui. O seu tratado continua imediatamente com a demolição de um argumento aristotélico ainda mais importante, o que conclui a imobilidade porque um objecto atirado verticalmente para cima regressa sempre ao ponto de partida sobre a Terra (KUHN, 2002, p. 133).

Em seguida, Kuhn cita a passagem de Oresme segundo a qual ele defende que uma seta lançada para o alto move-se junto ao ar e os demais corpos terrestres, além de efetuar o movimento retilíneo ascendente que lhe foi imposto. Ou seja, a seta realiza um movimento *composto*⁵⁰⁰, movendo-se para o alto e ao mesmo tempo circularmente junto aos corpos terrestres, assumindo assim a hipótese do movimento da Terra. Ao final, a seta retorna exatamente ao ponto de onde foi lançada. Oresme, segundo Kuhn, diz o seguinte:

⁵⁰⁰ Kuhn não utiliza esse termo, empregado aqui para clarificar o argumento.

[Em resposta ao argumento de Aristóteles e Ptolomeu] pode dizer-se que uma seta atirada directamente para o ar move-se [também] rapidamente para leste com o ar através do qual passa e com toda a massa das porções mais baixas [ou terrestres] do universo acima descrito, e o conjunto [a terra, o ar e a seta] move-se com uma rotação diária. Portanto, a seta regressa ao local da Terra de onde foi lançada. Isto parece possível por analogia: se um homem estivesse num barco que se move rapidamente para leste sem ele ter conhecimento do seu movimento, e se baixasse a mão rapidamente descrevendo uma linha contra o mastro do barco, parecer-lhe-ia que a sua mão só fizera um movimento vertical; e o mesmo argumento mostra-nos por que é que a seta nos parece descer ou subir em linha recta (ORESME *apud* KUHN, 2002, p. 133).

Na sequência, Kuhn acrescenta que o *Diálogo* de Galileu contém argumentos similares ao exposto acima, e levanta a hipótese de que o autor italiano tenha desenvolvido teses de pensadores medievais como Oresme. Contudo, Kuhn adverte que Oresme não é um Copérnico, dado que, dentre outros motivos, não compartilha com o astrónomo polonês a mesma motivação. Afinal, enquanto os autores modernos pretendiam extrair vantagens astronômicas da possível mobilidade da Terra, Oresme estava apenas comentando a obra aristotélica, de modo que, se não fosse a importância que os medievais conferiam a Aristóteles, talvez Oresme (assim como os demais estudiosos do Estagirita) nem teria investigado o assunto. Nas palavras de Kuhn:

A famosa defesa de Galileu do sistema de Copérnico, o *Diálogo sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo*, está cheia de argumentos exactamente deste tipo, e Galileu pode mesmo ter elaborado sugestões derivadas dos predecessores escolásticos de Copérnico, incluindo Oresme. Mas isso não faz de Oresme um Copérnico. Ele nem sequer infere a rotação diária da Terra; nem sonha com um movimento orbital em torno do centro do universo: e não tem noção dos benefícios que os astrónomos podem retirar da existência de uma Terra móvel. Aliás, nem sequer partilha dos motivos de Copérnico e a sua ausência torna o seu trabalho ainda mais espantoso. Quando os argumentos de Oresme aparecem de novo nos textos de Copérnico e de Galileu, têm uma função diferente e mais criativa. Cientistas posteriores quiseram mostrar que a Terra *talvez* se movesse, a fim de explorarem as vantagens que resultariam para a astronomia se, de facto, ela *se movesse*. Oresme pretendeu mostrar apenas que a Terra *se poderia mover*; estava apenas a investigar as provas de Aristóteles. Como muitas das outras contribuições mais úteis da ciência escolástica, os seus argumentos copernicanos são produtos da supremacia que os espíritos em finais da Idade Média concediam a Aristóteles. Os homens que concordavam com as conclusões de Aristóteles investigaram as suas provas só porque executadas pelo mestre. No entanto, as suas investigações muitas vezes ajudaram a conseguir o derrube final do mestre (KUHN, 2002, p. 133-134).

Apesar da proximidade dos textos de Copérnico e Galileu com os escritos de Oresme, não se sabe se os primeiros leram as obras de seu predecessor. Se tal contato

tiver ocorrido, Copérnico e Galileu não teriam agido de má-fé ocultando tal influência, pois, conforme esclarece Kuhn, a tradição que obriga o pesquisador a revelar as suas fontes só foi consolidada muito tempo após a revolução científica. Dada a quantidade de críticos medievais de Aristóteles, havia muitas cópias de textos circulando na época de Copérnico e Galileu, inclusive cópias das obras de Oresme. Não é absurdo, portanto, crer que os maiores nomes da física clássica tenham lido Oresme, mas isso permanece sendo apenas uma suposição, sem evidências históricas que possam corroborar a hipótese. Todavia, independentemente disso, havia conceitos-chave⁵⁰¹ de origem parisiense que circularam em Oxford no século XIV e depois em Pádua nos dois séculos seguintes, cidade na qual Copérnico estudou e Galileu lecionou. No mais, o ambiente acadêmico favorecia a discussão acerca de temas como o da mobilidade terrestre, de modo que se poderia supor que Copérnico foi influenciado por pensadores escolásticos cujo nome não conhecemos. Essa é a tese de Kuhn, que assim diz:

Claro que não podemos ter a certeza de que Copérnico ou Galileu leram Oresme. A tradição que exige que o erudito e o cientista revelem as suas fontes só foi estabelecida muito depois da revolução científica dos séculos XVI e XVII. Mas Aristóteles tinha muitos críticos escolásticos, e eles escreveram numerosos manuscritos que foram repetidamente copiados após as suas mortes. Cinco séculos e meio após a composição do comentário de Oresme ainda existem seis cópias do manuscrito medieval, algumas do século XV, elaboradas após a morte de Oresme. Na altura do nascimento de Copérnico devia haver muitas mais. Além disso, a tradição da crítica escolástica era uma tradição contínua. Conceitos-chave que tiveram origem em Paris no século XIV podem ser encontrados em Oxford no mesmo século e em Pádua nos séculos XV e XVI. Copérnico estudou em Pádua e Galileu ensinou lá. Embora não possamos ter a certeza de que Copérnico tenha deduzido alguma tese particular do *De Revolutionibus* a partir de algum crítico escolástico específico, não podemos duvidar de que os críticos como grupo facilitaram a produção dessas teses. Pelo menos criaram um clima de opinião no qual tópicos como o movimento da Terra eram assuntos legítimos para discussões na universidade. Muito provavelmente, alguns dos conceitos-chave de Copérnico foram retirados de fontes anteriores e desconhecidas (KUHN, 2002, p. 134).

Evidentemente, não é necessário que Copérnico e Galileu tenham lido ou mesmo se baseado em Oresme para supor que este foi um precursor dos modernos, tese que será analisada em detalhes no próximo capítulo.

⁵⁰¹ Kuhn não esclarece a quais conceitos-chave está se referindo no texto.

CAPÍTULO 6. ORESME: PRECURSOR DA CIÊNCIA MODERNA?

6.1 A relatividade do movimento

Conforme exposto no tópico 4.4 deste estudo⁵⁰², Oresme parece ter sido um precursor da ideia moderna de relatividade do movimento. Ao abordar o tema dessa relatividade, Oresme tinha por objetivo mostrar que não se pode recorrer à experiência para provar a mobilidade dos céus e a crença de que a Terra permanece estática⁵⁰³. Para o filósofo francês, nenhum argumento pode demonstrar isso⁵⁰⁴. A ideia basilar de Oresme é a de que um movimento só pode ser percebido caso seja perceptível a mudança de um corpo em relação a outro, tese que ele defende em seu *Le Livre du ciel et du monde*, Livro II, Capítulo XXV⁵⁰⁵. Após apresentar o argumento dos dois barcos, em que um homem a bordo de um barco A só percebe um movimento quando a posição do barco em que está muda em relação ao barco B⁵⁰⁶, Oresme faz um paralelo com o movimento dos céus, que sempre parecem estar se movendo porque são observados a partir da Terra, ponto que, para seus habitantes, parece estar em repouso⁵⁰⁷. Diz ele:

Digo, portanto, que, se a [parte] superior das duas partes do mundo mencionadas acima⁵⁰⁸ fosse movida hoje em movimento diário – como é – e a parte inferior permanecesse imóvel, e se amanhã o contrário acontecesse, de forma que a parte inferior se movesse em movimento diário e a superior – isto é, os céus etc. – permanecesse em repouso, não deveríamos ser capazes de sentir ou perceber essa mudança, e tudo pareceria exatamente o mesmo [...] tanto hoje quanto amanhã com relação a essa mudança. Devemos continuar certos ao assumir que a parte onde nós estamos estava em repouso enquanto a

⁵⁰² Páginas 185 a 191. Tema tratado entre as páginas 185 a 189.

⁵⁰³ ORESME, 1968a, p. 521. Passagem citada na página 185 deste trabalho.

⁵⁰⁴ Ver nota de rodapé anterior.

⁵⁰⁵ Diz Oresme: “Agora, tomo como um fato que o movimento local pode ser percebido apenas se pudermos ver que um corpo assume uma posição diferente em relação a outro corpo” (ORESME, 1968a, p. 523). Na tradução em inglês: “Now, I take as a fact that local motion can be perceived only if we can see that one body assumes a different position relative to another body”.

⁵⁰⁶ ORESME, 1968a, p. 523. Trecho citado na página 187.

⁵⁰⁷ Para Oresme, sempre pensamos que estamos em repouso, independentemente de estarmos na Terra ou nos céus. Sobre isso, consultar a página 187.

⁵⁰⁸ Ver nota de rodapé nº 381, na página 188.

outra parte estava continuamente em movimento⁵⁰⁹ (ORESME, 1968a, p. 523).

Nessa passagem, aparece a ideia de que o possível movimento da Terra (a parte inferior do mundo, conforme Oresme) seria imperceptível para seus ocupantes, de modo que, se a Terra se movesse e os céus permanecessem estáticos, o “movimento” percebido seria o dos céus, e não da Terra. Galileu apresenta a mesma ideia na Segunda Jornada de seu *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, por meio de seu personagem Salviati, que diz:

Salviati – Seja, portanto, o princípio de nossa contemplação o considerar que qualquer movimento que seja atribuído à Terra, é necessário que para nós, como habitantes daquela e consequentemente partícipes do mesmo, ele fique totalmente imperceptível e como se não fosse, enquanto considerarmos unicamente as coisas terrestres; mas é também, ao contrário, outro tanto necessário que o mesmo movimento se apresente para nós comum a todos os outros corpos e objetos visíveis que, estando separados da Terra, não o possuem (GALILEI, 2001, p. 194-195).

Ou seja, segundo Galileu, nós não perceberíamos o movimento da Terra, enquanto observaríamos que todo o resto do cosmos estaria se deslocando, quando na verdade estaria estático. Da mesma forma como Oresme diz que o deslocamento percebido será o dos céus, independentemente de qual parte do mundo (celeste ou terrestre) esteja realmente em movimento, Galileu assegura que a região celeste parece se mover, o que não impede que o movimento real seja o da Terra; mas caso a Terra esteja se movendo, isso não será percebido para os partícipes do movimento terrestre. Continua Salviati:

Salviati – Ora, existe um movimento generalíssimo e máximo sobre todos os outros, e é aquele pelo qual o Sol, a Lua, os outros planetas e as estrelas fixas, e em suma todo o universo, excetuada apenas a Terra, nos parece moverem-se conjuntamente de oriente para ocidente em vinte e quatro horas, e este movimento, quanto a essa primeira aparência, nada impede que possa ser tanto unicamente da Terra, quanto de todo o resto do mundo, excetuada a Terra; porque as

⁵⁰⁹ Na tradução em inglês: “I say, therefore, that, if the higher of the two parts of the world mentioned above were moved today in daily motion – as it is – and the lower part remained motionless and if tomorrow the contrary were to happen so that the lower part moved in daily motion and the higher – that is, the heavens, etc. – remained at rest, we should not be able to sense or perceive this change, and everything would appear exactly the same [...] both today and tomorrow with respect to this mutation. We should keep right on assuming that the part where we are was at rest while the other part was moving continually”.

mesmas aparências ver-se-iam tanto em uma como na outra posição (GALILEI, 2001, p. 195).

Em sua argumentação acerca da possibilidade do movimento terrestre, Oresme procura responder a três experiências⁵¹⁰ que parecem confirmar a imobilidade da Terra. A primeira dessas experiências é o fato de que como vemos o nascer e pôr do Sol, bem como a Lua e as estrelas se moverem, então isso indicaria o movimento celeste. A segunda experiência diz que, se a Terra se move, então a sua rotação dura um dia, fazendo com que tudo o que está no solo seja movido rapidamente para o leste, de modo que deveríamos sentir o movimento muito forte do ar e do vento, vindos do leste, mas que isso não ocorre. O terceiro argumento, segundo Oresme, é de Ptolomeu, e consiste no fato de que, caso alguém que esteja a bordo de um barco em movimento em direção ao leste atire uma flecha para cima, esta não cairia no barco, mas sim em algum ponto ao oeste; analogamente, se a Terra se movesse rapidamente em direção ao leste, uma pedra que fosse arremessada para cima não cairia sobre o ponto em que fora lançada, mas longe dele, para o oeste, e tais ocorrências não se confirmam. Ora, Galileu também utiliza três experiências similares para mostrar, em um primeiro momento, que seria muito mais plausível acreditar que a Terra permanece imóvel enquanto os céus estariam se movendo. Tais experiências são expostas por Salviati:

Salviati – Todos apresentam como a mais forte razão aquela dos corpos pesados, que caem do alto para baixo por uma linha reta e perpendicular à superfície da Terra; argumento considerado incontestável de que a Terra esteja imóvel: porque, quando ela tivesse a rotação diurna, uma torre, de cujo cimo se deixasse cair uma pedra, sendo transportada pela rotação da Terra, no tempo em que a pedra gasta para a sua descida, afastar-se-ia muitas centenas de braças para o oriente, e por tanto espaço deveria a pedra percutir na Terra afastada da base da torre. Confirmam esse mesmo efeito com uma outra experiência, ou seja, deixando cair uma bola de chumbo do alto do mastro de um navio que esteja parado, marcando o lugar onde ela bate, que é próximo da base do mastro; mas, se do mesmo lugar deixasse cair a mesma bola, quando o navio estiver em movimento, sua batida será afastada da outra por tanto espaço quanto o navio adiantou-se durante o tempo da queda do chumbo, e isto simplesmente porque o movimento natural da bola posta em liberdade é por linha reta em direção ao centro da Terra. Tal argumento é fortalecido pela experiência de um projétil lançado para o alto a grandíssima distância, como seria uma bala atirada por uma peça de artilharia, dirigida perpendicularmente sobre o horizonte, a qual bala, na subida e na descida, gasta tanto tempo que, no nosso paralelo, a artilharia e nós conjuntamente seríamos por muitas milhas transportados pela Terra para levante, de modo que a bala, caindo, nunca poderia retornar junto

⁵¹⁰ ORESME, 1968a, p. 521. Ver citação na página 186.

à peça de artilharia, mas tão afastada para ocidente quanto a Terra se tivesse deslocado. Acrescentam ainda a terceira e muito eficaz experiência, que é: atirando-se com uma colubrina a grande elevação uma bala em direção a levante, e depois uma outra com idêntica carga na mesma elevação em direção a poente, o tiro para poente resultaria imensamente maior que o outro para levante; porque, enquanto a bala vai para ocidente, e a artilharia, levada pela Terra, para oriente, a bala acabaria por percutir na Terra afastada da artilharia por tanto espaço quanto é o agregado das duas viagens, uma feita por si para ocidente, e a outra pela peça, levada pela Terra, para levante; e, ao contrário, da viagem feita pela bala atirada para levante deveríamos subtrair aquela que teria sido efetuada pela artilharia que a segue: posto, portanto, por exemplo, que a viagem da bala por si mesma fosse de cinco milhas, e que a Terra naquele determinado paralelo durante o tempo do voo da bala percorresse três milhas, no tiro para poente a bala cairia sobre a Terra oito milhas afastada da peça de artilharia, ou seja, suas cinco para poente e as três da peça para levante; mas o tiro para oriente não resultaria maior que duas milhas, porque tanto é o que resta, subtraindo das cinco do tiro as três do movimento da peça na mesma direção: mas a experiência mostra que os tiros são iguais; portanto, a artilharia está imóvel, e consequentemente também a Terra (GALILEI, 2001, p. 206-208).

6.2 O movimento composto

Ainda em relação ao tópico 4.4 deste texto⁵¹¹, Oresme também desenvolveu um raciocínio que pode ser considerado precursor da concepção galileana de movimento composto. Em sua argumentação, Oresme faz referência ao próprio Aristóteles para defender a existência de movimentos que não são apenas retilíneos ou circulares, mas um misto de ambos. Segundo o filósofo francês, o Estagirita menciona que uma porção de fogo puro A, ao ocupar um espaço na esfera do ar, move-se de forma ascendente até a esfera do fogo, mas não realiza um movimento puramente retilíneo. Na verdade, considerando que para Aristóteles as esferas do ar e do fogo movem-se circularmente, então a porção do fogo realiza um movimento ascendente em direção à esfera do fogo, mas também executa um movimento circular, acompanhando o deslocamento das referidas esferas. Logo, segundo Oresme, “o movimento de A neste caso também deve ser composto de movimento retilíneo e, em parte, de movimento circular, porque a região do ar e a esfera de fogo por onde A passou têm, na opinião de Aristóteles, movimento circular”⁵¹² (ORESME, 1968a, p. 525)⁵¹³.

⁵¹¹ Páginas 185 a 191. Tema tratado nas páginas 190 e 191.

⁵¹² Na tradução em inglês: “the motion of *a* in this case also must be compounded of rectilinear and, in part, of circular motion, because the region of the air and the sphere of fire through which *a* passed have, in Aristotle’s opinion, circular motion”.

⁵¹³ Ver passagem completa na página 191.

Para Oresme, uma flecha disparada para o alto realiza um movimento semelhante, movendo-se “para o leste muito rapidamente com o ar através do qual ela passa, junto com toda a parte inferior do mundo que nós já definimos e que se movem com movimento diário”⁵¹⁴ (ORESME, 1968a, p. 525)⁵¹⁵. Aqui, Oresme pressupõe a rotação diária da Terra, que levaria consigo o ar circundante e, assim, a flecha em movimento. Logo, o movimento da flecha seria composto por um movimento retilíneo para o alto e um movimento circular horizontal, acompanhando o deslocamento da Terra. Segundo Oresme, “por esta razão a flecha cai de volta ao local de onde foi atirada para o ar”⁵¹⁶ (*ibid.*, p. 525).

De modo similar ao de Oresme, Galileu também recorre ao argumento do fogo para provar o seu ponto, isto é, que uma pedra pode efetuar um movimento composto. No decorrer da Segunda Jornada do *Diálogo*, Salviati propõe ao personagem Simplicio (que defende as opiniões de Aristóteles) a seguinte questão: no caso de a Terra efetuar um movimento circular, qual deveria ser o movimento de uma pedra que caísse rente a uma torre, considerando que a torre acompanharia o movimento terrestre? A esse problema, Simplicio afirma que a pedra deveria possuir dois movimentos, um retilíneo descendente e outro que seguisse o movimento da torre, ao que Salviati responde se tratar de um movimento composto, conforme a seguinte passagem:

Salviati – Mas se por acaso o globo terrestre se movesse circularmente, e conseqüentemente levasse consigo também a torre, e que, de qualquer modo, se visse a pedra ao cair vir rasando o fio da torre, qual deveria ser seu movimento?

Simplicio – Seria preciso dizer nesse caso antes “os seus movimentos”; porque um seria aquele com o qual viria do alto para baixo, e deveria possuir um outro para acompanhar o curso da torre.

Salviati – Seu movimento seria, portanto, composto por dois, ou seja, daquele com o qual ela mede a torre, e do outro com o qual ela a segue: composto do qual resultaria que a pedra não mais descreveria aquela simples linha reta e perpendicular, mas uma transversal, e talvez não reta (GALILEI, 2001, p. 220).

⁵¹⁴ Na tradução em inglês: “toward the east very rapidly with the air through which it passes, along with all the lower portion of the world which we have already defined and which moves with daily motion”.

⁵¹⁵ Ver passagem completa nas páginas 189 e 190.

⁵¹⁶ Na tradução em inglês: “for this reason the arrow falls back to the place from which it was shot into the air”.

Segundo Simplicio, tal movimento composto seria impossível. Para Salviati, se Aristóteles não tivesse julgado impossível o deslocamento retilíneo e ao mesmo tempo circular da pedra, ele teria que ter admitido que, independentemente de a torre se mover ou não, a pedra poderia cair rente à torre. Assim, como de qualquer forma a pedra poderia cair de forma retilínea ao lado da torre, não seria possível deduzir, a partir dessa experiência, que a Terra está imóvel. Contudo, Salviati problematiza a afirmação de que o Estagirita tenha considerado o movimento composto impossível, já que o admitiu em relação ao fogo. Segundo Salviati, Aristóteles diz que o fogo sobe retilineamente ao tempo em que também o faz circularmente, acompanhando o movimento circular da esfera de fogo. Assim, ao admitir que o fogo pode realizar esse movimento composto, Aristóteles teria admitido tacitamente que uma pedra pudesse cair de forma retilínea e, ao mesmo tempo, circularmente, dado que ela seria partícipe do movimento da Terra. Segue o diálogo dos dois personagens:

Simplicio – Assim é; porque, para querer que a pedra descesse rasando a torre, quando ela fosse levada pela Terra, seria necessário que a pedra tivesse dois movimentos naturais, a saber, o reto em direção ao centro e o circular em torno do centro, o que é impossível.

Salviati – Portanto, a defesa de Aristóteles consiste em ser impossível ou, pelo menos, em ter ele julgado impossível que a pedra pudesse mover-se com um movimento misto de reto e circular; porque, quando ele não tivesse considerado impossível que a pedra se pudesse mover concomitantemente para o centro e em torno do centro, ele teria reconhecido que poderia acontecer que a pedra cadente pudesse descer rasando a torre, tanto se esta se movesse, como se estivesse parada e, conseqüentemente, teria percebido que desse rasar não se poderia inferir nada acerca do movimento ou do repouso da Terra. Mas isto de modo algum desculpa Aristóteles, não somente porque devia tê-lo dito, quando ele tivesse tido tal conceito, sendo um ponto tão essencial de sua argumentação, mas ainda mais porque não se pode afirmar nem que tal efeito seja impossível, nem que Aristóteles o tenha considerado impossível. Não se pode afirmar o primeiro, porque em breve mostrarei que ele não é somente possível, mas necessário; nem tampouco se pode afirmar o segundo, porque o próprio Aristóteles concede que o fogo vai para cima naturalmente em linha reta e se move girando com o movimento diurno, participado pelo céu a todo elemento do fogo e à maior parte do ar; se, portanto, não é impossível misturar o movimento reto para cima com o circular comunicado pelo côncavo lunar ao fogo e ao ar, muito menos deveria considerar impossível o movimento reto para baixo da pedra com o circular, que fosse natural de todo o globo terrestre, do qual a pedra faz parte (GALILEI, 2001, p. 222).

Ou seja, assim como Oresme emprega o argumento do fogo para subsidiar a afirmação de que a flecha realiza um movimento composto, Galileu utiliza o mesmo método para justificar o movimento composto da pedra.

6.3 O argumento do navio

Reportando-nos novamente ao tópico 4.4 do presente estudo, observamos que Oresme faz uma analogia entre os movimentos realizados na Terra com os movimentos que ocorrem no interior de um navio. O filósofo defende que, assim como os movimentos dentro do navio não constituem causa suficiente para determinar se a embarcação está imóvel ou em movimento, os deslocamentos que têm lugar na Terra também não podem ser utilizados como prova de que ela está em movimento ou em repouso. Independentemente de o navio ou a Terra estarem em movimento ou parados, os movimentos que ocorrem no interior de cada um deles aparentam ser exatamente os mesmos. É o que propõe Oresme, ao defender que “se o ar estivesse encerrado em um barco em movimento, pareceria a uma pessoa nesse ar que ele não estava se movendo”⁵¹⁷ (ORESME, 1968a, p. 525)⁵¹⁸. Ou seja, o deslocamento do barco em nada interfere no movimento do ar, visto que o ar participa do movimento da embarcação. Algo similar ocorreria em relação à Terra, que ao se mover levaria consigo a água e o ar⁵¹⁹, de modo que o movimento destes não pode ser utilizado para inferir a mobilidade ou não da Terra, já que ambos teriam os mesmos movimentos estando a Terra ou não em repouso. Sobre isso, diz Oresme:

No interior do barco movendo-se rapidamente para o leste podem existir todos os tipos de movimentos – horizontais, cruzados, para cima e para baixo em todas as direções – e eles parecem ser exatamente os mesmos que aqueles quando o navio está em repouso. [...] da mesma forma que no caso anterior, todos os movimentos aqui embaixo pareceriam ser os mesmos como se a Terra estivesse em repouso⁵²⁰ (ORESME, 1968a, p. 525)⁵²¹.

⁵¹⁷ Na tradução em inglês: “if the air were closed in on a moving boat, it would seem to a person in that air that it was not moving”.

⁵¹⁸ Ver a passagem completa na página 189.

⁵¹⁹ De acordo com Oresme, “não apenas a Terra se move, mas também com ela a água e o ar” (ORESME, 1968a, p. 525). Na tradução em inglês: “not only the earth moves, but also with it the water and the air”.

⁵²⁰ Na tradução em inglês: “Inside the boat moved rapidly eastward, there can be all kinds of movements – horizontal, criss-cross, upward, downward, in all directions – and they seem to be exactly the same as those when the ship is at rest. [...] similarly as in the preceding case, all the motions here below would seem to be the same as though the earth rested”.

⁵²¹ Ver passagem completa nas páginas 189 e 190.

Por sua vez, Copérnico empregou um argumento semelhante ao de Oresme, em sua defesa do movimento da Terra. Assim como o seu predecessor francês, Copérnico propõe uma analogia entre o movimento de um navio e a rotação terrestre. Tal paralelo encontra-se no Capítulo VIII do Livro I do seu clássico *As Revoluções dos Orbes Celestes*, quando Copérnico busca refutar as razões apresentadas em favor da imobilidade da Terra. No referido capítulo, Copérnico questiona a razão de se atribuir o movimento ao Universo, ao invés de considerar que a Terra é que se move. Nesse ponto, Copérnico afirma que a rotação diária é aparente no céu, mas verdadeira na Terra. No navio em movimento, os tripulantes acreditam na mobilidade de tudo o que está fora da embarcação, enquanto pensam que estão imóveis, assim como tudo a bordo do navio. Segundo Copérnico, a mesma coisa ocorre em relação ao movimento da Terra, que parece estar em repouso junto com tudo o que lhe compõe, da mesma forma como o barco parece estar em repouso. Porém, Copérnico defende que a Terra está em movimento à semelhança do navio, enquanto tudo o que está nos céus aparenta se mover. Nas palavras do autor:

Porquê (sic), pois, hesitamos ainda em conceder movimento àquilo que tem uma superfície naturalmente própria para ele, em lugar de acreditar que todo o Universo se move, embora não se conheça se tem fim e nem se possa vir a conhecer? 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, como disse o Eneias de Virgílio: «Nós saímos do porto e a Terra e as cidades recuam» [*Eneida*, III, 72]. 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 objectos⁵²² junto deles. Naturalmente, a mesma coisa acontece com o movimento da Terra de maneira que todo o Universo parece rodar (COPÉRNICO, 1984, p. 40-41).

Um ponto importante a considerar é que, enquanto Oresme não assume que o movimento da Terra é real, Copérnico se compromete com a tese, conforme demonstra a passagem precedente. Para Oresme, a rotação terrestre era uma mera possibilidade, devido ao fato de que não se pode provar, de maneira conclusiva, que os céus se movem⁵²³; contudo, para Copérnico, a rotação terrestre é real. Não obstante essa diferença, é evidente a proximidade entre os escritos de Oresme e o texto copernicano supracitado.

⁵²² Conforme o texto original, em português utilizado em Portugal.

⁵²³ ORESME, 1968a, p. 537 e 539. Passagem citada na página 199.

Ademais, na Segunda Jornada de seu *Diálogo*, Galileu também utilizou o exemplo do navio em sua argumentação em favor de Copérnico, objetivando demonstrar que são nulas todas as experiências propostas contra o movimento da Terra. O autor italiano propõe um experimento imaginário por meio do personagem Salviati, pedindo a Sagredo que imagine ocupar, junto com um amigo, a maior cabine fechada de um grande navio, junto com vários pequenos animais voadores, um grande aquário com peixes e dois baldes, um abaixo do outro, no qual o de cima derrama gotas de água no de baixo. Além disso, pede que seu interlocutor imagine estar lançando um objeto na direção do amigo, sem que seja preciso empregar mais ou menos força a depender do lado para onde se atira o objeto. Em tal cenário, os pequenos animais voam para todos os lados, os peixes se movem dentro do recipiente com água e as gotas caem de um balde a outro, enquanto o navio está parado. O ponto de Salviati é que, se o navio iniciar um movimento uniforme, tudo o que estava ocorrendo dentro da cabine fechada continua de forma inalterada, de modo que, a partir dos movimentos observados na cabine, não se poderia concluir que o navio está imóvel ou em movimento, já que tudo que está confinado na cabine participa do movimento do navio. Com isso, Galileu imagina dissipar toda a argumentação contrária à rotação terrestre, embora nessa passagem ele não tenha explicitado a analogia entre o navio e a Terra, mas apenas mencionado, no início, que o seu argumento seria capaz de refutar a tese da imobilidade, conforme lemos abaixo:

E aqui, *como um último sinal da nulidade de todas as experiências apresentadas*⁵²⁴, parece-me que é o tempo e o lugar de mostrar o modo de experimentá-las todas muito facilmente. Fechai-vos com algum amigo no maior compartimento existente sob a cobertura de algum grande navio, e fazei que aí existam moscas, borboletas e semelhantes animaizinhos voadores; seja também colocado aí um grande recipiente com água, contendo pequenos peixes; suspenda-se ainda um balde, que gota a gota verse água em outro recipiente de boca estreita, que esteja colocado por baixo: e, estando em repouso o navio, observai diligentemente como aqueles animaizinhos voadores com igual velocidade vão para todas as partes do ambiente; ver-se-ão os peixes nadar indiferentemente para todos os lados; as gotas cadentes entrarem todas no vaso posto embaixo; e vós, lançando alguma coisa para o amigo, não a deveis lançar com mais força para esta que para aquela parte, quando as distâncias sejam iguais; e saltando, como se diz, com os pés juntos, transporíeis espaços iguais para todas as partes. Assegurai-vos de ter diligentemente todas essas coisas, ainda que não exista dúvida alguma de que enquanto o navio

⁵²⁴ Em uma nota à margem do texto, na página 268, o tradutor Pablo Rubén Mariconda diz que a experiência da cabine consiste em “experiência suficiente para mostrar a nulidade de todas as produzidas contra o movimento da Terra”.

esteja parado as coisas devem acontecer assim, e fazei mover o navio com quanta velocidade desejardes; porque (sempre que o movimento seja uniforme e não flutuante de cá para lá) não reconhecereis uma mínima mudança em todos os mencionados efeitos, nem de nenhum deles podereis compreender se o navio caminha ou está parado: saltando, percorreríeis no tablado os mesmos espaços que antes, nem daríeis saltos maiores para a popa que para a proa, porque o navio se move velocissimamente, ainda que, no tempo durante o qual estejais no ar, o tablado subjacente deslize para a parte contrária ao vosso salto; e jogando alguma coisa ao companheiro, não será necessário atirá-la com mais força para alcançá-lo, se ele estiver para a proa e vós para a popa, que se estivésseis colocados ao contrário; e as gotas continuarão a cair como antes no recipiente inferior, sem que nenhuma caia em direção à popa, ainda que, enquanto a gota está no ar, o navio navegue muitos palmos; os peixes na sua água nadarão sem maior esforço tanto para a parte precedente quanto para a parte subsequente do vaso, e com a mesma facilidade chegarão ao alimento colocado em qualquer lugar da borda do recipiente; e finalmente as borboletas e as moscas continuarão seus voos indiferentemente para todas as partes, e nunca acontecerá que se concentrem na parte endereçada para a popa, como se estivessem cansadas de acompanhar o curso veloz do navio, do qual seriam separadas, por manterem-se no ar por longo tempo; e se queimando alguma lágrima de incenso produzísseis um pouco de fumaça, veríeis que ela se eleva para o alto e como uma pequena nuvem aí se mantém, movendo-se indiferentemente não mais para esta que para aquela parte. *E a razão de toda esta correspondência de efeitos é ser o movimento do navio comum a todas as coisas contidas nele* e também no ar, razão pela qual sugeri que se estivesse sob a cobertura do navio; porque, se se estivesse na cobertura do navio e ao ar livre que não segue o curso do navio, ver-se-iam diferenças mais ou menos notáveis em alguns dos efeitos mencionados: e não existe dúvida de que a fumaça ficaria para trás, como o próprio ar; do mesmo modo as moscas e as borboletas, impedidas pelo ar, não poderiam acompanhar o movimento do navio, quando se separassem dele por um espaço bastante considerável; mas mantendo-se próximas, posto que o próprio navio, enquanto construção anfractuosa, leva consigo parte do ar que lhe está próximo, sem obstáculo ou cansaço seguiriam o navio, e pela mesma razão vemos algumas vezes, ao cavalgar, as moscas importunas e os moscóes seguirem os cavalos, voando-lhes ora nesta e ora naquela parte do corpo. Mas nas gotas que caem, pouquíssima seria a diferença, e nos saltos e nos projéteis pesados, totalmente imperceptível (GALILEI, 2001, p. 268-269, grifos meus).

Embora nessa longa passagem Galileu não mencione explicitamente a Terra, é óbvia a semelhança entre a sua argumentação e a de Oresme, que diz que todos os movimentos ocorridos dentro de um barco são exatamente os mesmos, independentemente de o barco estar ou não em repouso. Galileu pretende provar que, a partir dos movimentos ocorridos na Terra, não se pode concluir o seu deslocamento ou imobilidade, dado que tais movimentos seriam os mesmos existindo ou não rotação terrestre. A questão para Galileu é que o movimento do barco é insensível para todos aqueles confinados na cabine fechada, da mesma forma como o movimento da Terra é insensível para todos os corpos que participam dele, de modo que a única maneira pela

qual tal movimento seria perceptível ocorreria se, de repente, o globo terrestre encontrasse algum obstáculo que o fizesse parar abruptamente, lançando todos os corpos para os ares. É o que propõe Salviati, um pouco mais à frente:

Salviati – De modo que a objeção desse filósofo [Copérnico] é a de que, seja aquele princípio, pelo qual nos movemos com a Terra, ou externo ou interno, deveríamos de qualquer modo senti-lo (*sic*), e como não o sentimos, não é nem um nem outro, e por isso nós não nos movemos e, conseqüentemente, nem a Terra. E eu afirmo que pode ser de um e de outro modo, sem que o percebamos. A experiência da embarcação afasta abundantemente qualquer dificuldade de poder ser externo: e digo abundantemente, porque, podendo, a qualquer momento, fazê-la mover-se ou também fazê-la parar, e com muita acuidade observar se por alguma diferença, que possa ser compreendida pelo sentido do tato, podemos aprender a perceber se ela se move ou não, vendo que até agora não se adquiriu tal conhecimento, por que então se surpreender se o mesmo fenômeno nos é desconhecido na Terra, a qual nos pode ter perpetuamente levado, sem jamais podermos experimentar o seu repouso? Acredito que vós também, Sr. Simplicio, pelo que penso, fostes mil vezes a Pádua em embarcações, e se quiserdes confessar a verdade, nunca sentistes em vós a participação daquele movimento, a não ser quando a embarcação, batendo na areia ou esbarrando em algum obstáculo, parou, e que vós juntamente com os outros passageiros, colhidos de surpresa, precipitaram-se com grande perigo. Seria necessário que o globo terrestre encontrasse algum obstáculo que o parasse, porque vos asseguro que, então, vos aperceberíeis do ímpeto que reside em vossa pessoa, enquanto fosseis arremessado por esse ímpeto para as estrelas. É bem verdade que com outro sentido, mas acompanhado pelo raciocínio, podeis aperceber-vos do movimento da embarcação, ou seja, com a visão, enquanto olhais as árvores e as construções colocadas nas margens, as quais, estando separadas da embarcação, parecem moverem-se em sentido contrário: mas, se por meio de uma tal experiência quiserdes convencer-vos do movimento terrestre, direi que olheis as estrelas, que, por isso, vos aparecem movendo-se em sentido contrário. Surpreender-se depois por não sentir esse princípio, quando fosse interno a nós, é um pensamento menos razoável; porque, se não sentimos um princípio similar que nos chega do exterior e que frequentemente se afasta, por que razão deveríamos senti-lo quando imutavelmente residisse continuamente em nós? (GALILEI, 2001, p. 337-338).

Para Galileu, uma vez que a Terra está em rotação de forma ininterrupta, nós também estamos por participarmos do seu movimento; e como o deslocamento terrestre nunca cessa, não podemos ter consciência do ímpeto de movimento que reside em cada um dos corpos e objetos terrestres. Assim, estando a Terra em repouso ou não, os movimentos dos corpos terrestres aparentam ser os mesmos, assim como escreveu Oresme⁵²⁵.

⁵²⁵ ORESME, 1968a, p. 525. Citado na página 257.

6.4 O teorema galileano da velocidade média

Conforme exposto no tópico 4.6⁵²⁶, Oresme desenvolveu uma representação geométrica para o teorema da velocidade média, a partir do entendimento de que uma qualidade uniformemente diferente (ou seja, que varia em quantidade de maneira uniforme) tem a mesma quantidade que teria na hipótese de a qualidade ser uniforme, desde que esta corresponda à metade da quantidade alcançada pela qualidade uniformemente diferente. Traduzindo essa regra no contexto das velocidades, significa dizer que um corpo em movimento uniformemente acelerado percorreria a mesma distância em um movimento uniforme, caso a velocidade desse movimento uniforme fosse equivalente à metade da velocidade alcançada durante o movimento uniformemente acelerado. Sobre isso, diz Oresme:

Toda qualidade, se for uniformemente disforme, tem a mesma quantidade que teria a qualidade do mesmo ou igual sujeito que seja uniforme, de acordo com o grau do ponto médio do mesmo sujeito. Entendo que isso se mantém se a qualidade for linear⁵²⁷ (ORESME, 1968b, p. 409)⁵²⁸.

A continuidade da argumentação de Oresme foi devidamente exposta no decorrer do tópico 4.6. O presente tópico concentrar-se-á na formulação moderna do teorema da velocidade média, ou seja, na versão galileana do teorema. Galileu elaborou a sua concepção do teorema na Terceira Jornada dos *Discorsi*, e diferentemente do que fez Oresme, Galileu enuncia o teorema já no formato aplicável aos movimentos, enquanto a elaboração de Oresme estava centrada nas “qualidades”, sendo a velocidade uma dessas qualidades. A princípio, Galileu ocupa-se em conceituar o movimento uniformemente acelerado, dizendo:

[...] um movimento é uniforme e, do mesmo modo, continuamente acelerado, quando, em tempos iguais quaisquer, adquire aumentos iguais de velocidade. [...] chamo movimento igualmente, ou o que é o mesmo, uniformemente acelerado, àquele que, partindo do repouso, adquire em tempos iguais, momentos (momenta) iguais de velocidade (GALILEI, 1985, p. 127).

⁵²⁶ Páginas 199 a 205.

⁵²⁷ Na tradução em inglês: “Every quality, if it is uniformly difform, is of the same quantity as would be the quality of the same or equal subject that is uniform according to the degree of the middle point of the same subject. I understand this to hold if the quality is linear”.

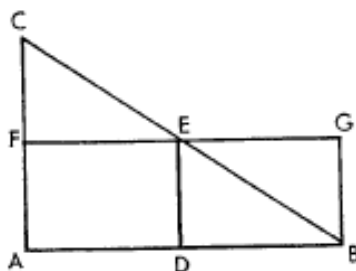
⁵²⁸ Ver passagem completa na página 201.

Na sequência, há um diálogo entre os três personagens do *Discorsi* (Salviati, Sagredo e Simplicio), e um pouco mais à frente Galileu enfim enuncia o seu teorema:

Teorema I – Proposição I: O tempo no qual um determinado espaço é percorrido por um móvel que parte do repouso com um movimento uniformemente acelerado é igual ao tempo no qual aquele mesmo espaço seria percorrido pelo mesmo móvel com um movimento uniforme, cujo grau de velocidade seja a metade do maior e último grau de velocidade alcançado no movimento uniformemente acelerado (GALILEI, 1985, p. 135).

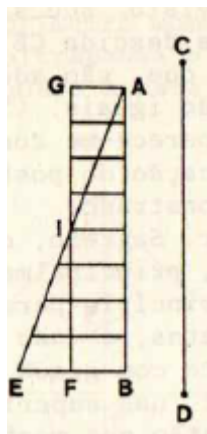
A semelhança entre o enunciado acima e o de Oresme é evidente. Oresme diz que uma qualidade uniformemente disforme (em Galileu, movimento uniformemente acelerado) possui a mesma quantidade que tal qualidade teria se fosse uniforme (na formulação galileana, se fosse um movimento uniforme), desde que essa qualidade uniforme seja igual ao ponto médio da qualidade disforme (metade do maior e último grau de velocidade no movimento uniformemente acelerado). Apesar de tal semelhança, não se pode afirmar que Galileu tenha tido contato com os textos de Oresme, algo que figura como uma mera possibilidade não confirmada. Contudo, Oresme pode ser considerado um precursor de Galileu e, assim, da ciência moderna, dadas as proximidades entre o seu pensamento e o de Copérnico e Galileu, independentemente de ambos terem ou não lido as obras do primeiro. Ademais, a semelhança entre os dois enunciados também se dá em relação à representação geométrica do teorema. Ambos utilizam figuras semelhantes para elucidar melhor a questão da velocidade média, conforme demonstração abaixo:

Figura 25



[Fig. 21 (a) do *De configurationibus*, p. 409]

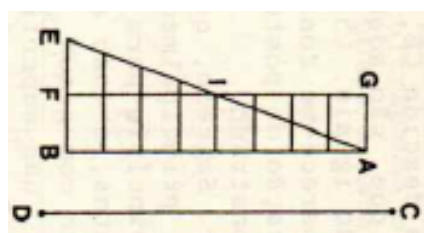
Figura 26



[GALILEI, 1985, p. 136]

Conforme observado, Galileu usa basicamente a mesma figura utilizada por Oresme, com a diferença de que Oresme preferiu uma representação horizontal, enquanto Galileu elaborou um desenho vertical. Para uma melhor comparação da semelhança entre as figuras, basta visualizar a figura de Galileu na horizontal:

Figura 27



Assim como fizera Oresme⁵²⁹, Galileu também elucida o significado da figura, explicando que a linha AB representa o tempo em que um móvel percorre o espaço CD com um movimento uniformemente acelerado, a partir do repouso em C. A velocidade máxima atingida pelo móvel é representada pela linha EB. A linha AE conecta as linhas que partem de diversos pontos da linha AB, representando os graus crescentes de velocidade atingidos pelo objeto. Ao dividir pela metade a linha BE, forma-se o retângulo AGFB, que equivale ao triângulo AEB. Assim, as linhas contidas no interior do triângulo representam graus crescentes de velocidade, enquanto as linhas contidas no retângulo representam graus de velocidade constantes, de modo que o triângulo representa o movimento acelerado e o retângulo representa o movimento uniforme. Dado que as figuras (que representam os espaços percorridos) têm igual tamanho,

⁵²⁹ ORESME, 1968b, p. 409 e 411. Citado na página 202 deste trabalho.

Galileu conclui que dois corpos percorrerão espaços iguais em tempos iguais, sendo que um desses corpos parte do repouso em movimento acelerado e o outro permanece em movimento uniforme (sem partir do repouso), desde que a velocidade desse último corresponda à metade da velocidade máxima alcançada pelo corpo em movimento acelerado. Nas palavras de Galileu:

Representemos por meio da linha AB o tempo durante o qual um móvel, partindo do repouso em C, percorrerá o espaço CD com um movimento uniformemente acelerado. Representemos o maior e último grau de velocidade adquirido durante o intervalo de tempo AB pela linha EB, formando com AB um ângulo reto. Tracemos a linha AE, todas as linhas que partem de diferentes pontos de AB e são equidistantes e paralelas a BE representarão os graus crescentes de velocidade a partir do instante A. Dividamos ao meio a linha BE no ponto F e tracemos FG paralela a BA e AG paralela a BF, formando assim o paralelogramo AGFB, igual ao triângulo AEB, visto que o lado GF divide ao meio o lado AE no ponto I. Se, por outro lado, prolongamos as linhas paralelas do triângulo AEB até IG, a soma de todas as paralelas contidas no quadrilátero será igual à soma das paralelas contidas no triângulo AEB, posto que as linhas paralelas do triângulo IEF são equivalentes às linhas contidas no triângulo GIA, e aquelas contidas no trapézio AIFB são comuns. Uma vez que cada um e todos os instantes do intervalo de tempo AB correspondem a cada um e todos os pontos da linha AB, as linhas paralelas traçadas a partir desses pontos no interior do triângulo AEB representam os graus crescentes de velocidade, enquanto que as paralelas contidas no paralelogramo representam os graus de velocidade que não crescem, mas que se mantêm constantes; é evidente que a soma dos momentos de velocidade, no caso do movimento acelerado, é representada pelas paralelas crescentes do triângulo AEB, enquanto que, no caso do movimento uniforme, é representada pelas paralelas iguais do paralelogramo GB. Com efeito, os momentos que faltam na primeira metade do movimento acelerado (aqueles que são representados pelas paralelas do triângulo AGI) são compensados pelos momentos representados pelas paralelas do triângulo IEF. E, portanto, evidente que espaços iguais serão percorridos em tempos iguais por dois corpos, dos quais um, partindo do repouso, se move com movimento uniformemente acelerado, enquanto que o outro, que se move com velocidade uniforme, se desloca com um movimento que é igual à metade do momento máximo de velocidade atingido pelo primeiro; que é o que se queria demonstrar (GALILEI, 1985, p. 135-136).

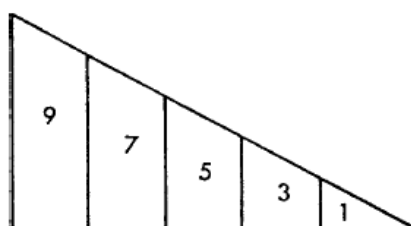
À sua maneira, Galileu também provou a veracidade do teorema da velocidade média proposto por Heytesbury⁵³⁰, por meio de uma representação geométrica. Portanto, Oresme e Galileu desenvolveram respostas semelhantes a um mesmo problema, isto é, provar que o referido teorema estava correto. Conclui-se, assim, que Oresme é um precursor de Galileu e da ciência moderna desenvolvida por ele.

⁵³⁰ HEYTESBURY, in CLAGETT, 1961, p. 270. Citado na página 150 deste trabalho.

6.5 Aceleração dos graves

Vimos no tópico 4.7⁵³¹ que Oresme, na Questão 14 de suas *Questiones super geometriam Euclidis*, buscou responder a pergunta sobre se pode haver igualdade entre qualidades uniformes e disformes. Segundo Oresme, existe uma proporção e, assim, uma igualdade entre essas qualidades do sujeito⁵³², como por exemplo em relação à brancura⁵³³. O ponto que interessa aqui é a regra, enunciada por Oresme, de que *toda qualidade uniformemente disforme é designada pelo quadrado do número de partes, desde que essas partes sejam iguais*⁵³⁴. Assim, se um sujeito é dividido em 5 partes iguais, a sua qualidade total (soma de todas as partes) é 25, dado que 5^2 equivale a 25. Ademais, para Oresme, existe uma relação aritmética entre as partes do sujeito, que consiste em dizer que a progressão entre essas partes é dada pela série de números ímpares (1, 3, 5, 7, 9...). No exemplo dado, em que o sujeito é dividido em 5 partes, a figura que representa a qualidade total é a seguinte:

Figura 28



[ORESME, 1968b, p. 563]

No caso acima, a qualidade total de brancura (para usar o exemplo de Oresme) é igual a 25 ($1 + 3 + 5 + 7 + 9 = 25$). Agora, se esta regra vale para todos os sujeitos, pode-se substituir a “brancura” por algo mais concreto, como o espaço percorrido por um móvel. Assim, poderíamos imaginar um móvel que, na primeira parte do tempo,

⁵³¹ Páginas 205 a 208.

⁵³² Ver página 206.

⁵³³ ORESME, 1968b, p. 561. Citado na página 206.

⁵³⁴ Diz Oresme: “toda qualidade uniformemente disforme [...], cujo sujeito é imaginado dividido em algum número de partes iguais deve ser designada pelo número quadrado do qual o número de partes seria a raiz” (ORESME, 1968b, p. 561). Na tradução em inglês: “every quality uniformly difform [...] whose subject is imagined to be divided into some number of equal parts ought to be designated by the square number of which the number of parts would be the root”. Citação completa na página 207.

percorre um metro; na segunda parte, três metros; na terceira parte, cinco metros; na quarta parte, sete metros e, por fim, nove metros na última parte, totalizando 25 metros percorridos. Tal regra foi empregada por Galileu para falar da proporção em que ocorre a aceleração dos graves, que ao partir do repouso vão adquirindo velocidade continuamente, de acordo com a série de números ímpares. Para usar o exemplo do autor italiano, suponhamos que determinado móvel percorra uma “cana” no primeiro tempo, três canas no segundo tempo, cinco canas no terceiro tempo e assim sucessivamente. A partir disso, Galileu enuncia a seguinte regra: *os espaços percorridos por um móvel, a partir do repouso, estão entre si como os quadrados dos tempos decorridos*. Isso significa que os espaços 1, 3, 5, 7 e 9 estão entre si como o quadrado dos tempos decorridos (1^2 , 2^2 , 3^2 , 4^2 e 5^2), o que é fácil de verificar:

$$1 = \mathbf{1} \ (1^2)$$

$$1 + 3 = \mathbf{4} \ (2^2)$$

$$1 + 3 + 5 = \mathbf{9} \ (3^2)$$

$$1 + 3 + 5 + 7 = \mathbf{16} \ (4^2)$$

$$1 + 3 + 5 + 7 + 9 = \mathbf{25} \ (5^2)$$

A argumentação galileana em relação ao tópico relativo aos números ímpares encontra-se em uma passagem do *Diálogo*, através da fala do personagem Salviati:

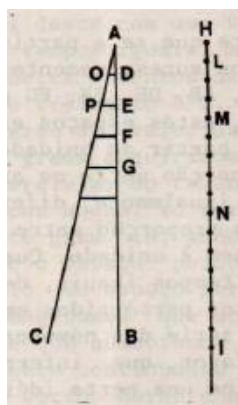
Salviati – Antes de mais nada, é necessário considerar que o movimento dos graves descendentes não é uniforme, mas, partindo do repouso, vão continuamente acelerando-se; efeito conhecido e observado por todos, menos pelo mencionado autor moderno [Copérnico], o qual, não falando de aceleração, considera-o uniforme. Mas esse conhecimento geral não traz qualquer proveito, quando não se sabe com que proporção é feito esse aumento de velocidade, conclusão que ficou até os nossos tempos desconhecida para todos os filósofos, e por primeira vez encontrada e demonstrada pelo Acadêmico, nosso amigo comum: o qual, em alguns de seus escritos ainda não publicados, mas que foram confidencialmente mostrados a mim e a outros amigos seus, demonstra como a aceleração do movimento reto dos graves se faz segundo os números ímpares *ab unitate*, ou seja, que indicados quais e quantos tempos iguais forem necessários, se no primeiro tempo, partindo o móvel do repouso, tiver percorrido um tal espaço, como, por exemplo, uma cana, no segundo tempo percorrerá três canas, no terceiro cinco, no quarto sete, e assim sucessivamente segundo os números ímpares sucessivos; o que, em suma, é o mesmo que dizer que os espaços percorridos pelo móvel, partindo do repouso, têm entre si o quadrado daquela proporção que têm os tempos nos quais tais espaços são medidos, ou queremos dizer que os espaços percorridos estão entre si como os quadrados dos tempos (GALILEI, 2001, p. 303-304).

Quanto à regra segundo a qual os espaços estão entre si como os quadrados dos tempos, Galileu fez dela o Teorema II acerca do movimento naturalmente acelerado, na Terceira Jornada dos *Discorsi*, conforme destacado abaixo:

Teorema II – Proposição II: Se um móvel, partindo do repouso, cai com um movimento uniformemente acelerado, os espaços por ele percorridos em qualquer tempo estão entre si na razão dupla dos tempos, a saber, como os quadrados desses mesmos tempos (GALILEI, 1985, p. 136).

Para provar esse ponto, Galileu propõe representar o tempo mediante a linha AB, na qual A representa o primeiro instante e B o último. Nessa linha, Galileu estabelece os intervalos de tempo AD e AE e, em outra linha (HI), representa o deslocamento de um móvel em movimento uniformemente acelerado, partindo do repouso no ponto H. Durante o primeiro intervalo de tempo AD, o móvel percorre o espaço HL, e no segundo intervalo AE o espaço percorrido é representado por HM. Galileu diz que o espaço HM está para o espaço HL em uma proporção dupla daquela em que o tempo AE tem para o tempo AD, sendo que os espaços HM e HL têm proporção idêntica aos quadrados de AE e AD. Após traçar a linha AC, Galileu traça as linhas paralelas DO e EP, que representam, respectivamente, o grau máximo de velocidade adquirido no ponto D e no ponto E. Na sequência, Galileu diz que os espaços HL e HM são iguais aos que seriam percorridos nos tempos AD e AE por movimentos uniformes, desde que tais movimentos tivessem velocidade igual à metade das velocidades representadas por DO e EP, respectivamente. Caso as distâncias HL e HM estejam na dupla proporção dos tempos AD e AE, diz Galileu, prova-se a proposição. A seguir, a figura desenhada por Galileu:

Figura 29



[GALILEI, 1985, p. 137]

Nas palavras de Galileu:

Representemos o tempo que tem início no instante A por meio da linha reta AB, na qual tomamos dois intervalos quaisquer de tempo AD e AE. Seja HI a linha segundo a qual o móvel, partindo do repouso em H, cairá com um movimento uniformemente acelerado; seja HL o espaço percorrido durante o primeiro intervalo de tempo AD e HM o espaço percorrido durante o intervalo de tempo AE. Afirmando que o espaço MH está para o espaço HL numa proporção dupla daquela que o tempo EA tem para o tempo AD; e podemos também afirmar que os espaços HM e HL têm a mesma proporção que os quadrados de EA e de AD. Tracemos a linha AC que forma um ângulo qualquer com a linha AB; e a partir dos pontos D e E tracemos as linhas paralelas DO e EP: se DO representa o grau máximo de velocidade adquirido no instante D do intervalo de tempo AD, PE representará, por definição, a velocidade máxima obtida no instante E do intervalo de tempo AE. Mas, conforme foi demonstrado acima a propósito dos espaços percorridos, esses espaços são os mesmos, se um móvel, partindo do repouso, se move com um movimento uniformemente acelerado e se, durante um intervalo de tempo igual, ele se move com um movimento uniforme, cuja velocidade é a metade da velocidade máxima adquirida durante o movimento acelerado. Segue-se que as distâncias MH e LH são idênticas às que seriam percorridas nos intervalos de tempos AE e DA por movimentos uniformes, cujas velocidades seriam iguais à metade daquelas representadas por DO e EP. Se tiver, portanto, sido provado que as distâncias MH e LH estão na dupla proporção dos tempos EA e DA, a proposição terá sido provada. Na quarta proposição do livro primeiro foi demonstrado que os espaços percorridos por dois corpos com movimento uniforme estão entre si numa proporção que é igual ao produto da proporção das velocidades com a proporção dos tempos. Neste caso, porém, a proporção das velocidades é a mesma que a proporção dos tempos (uma vez que a proporção entre AE e AD é a mesma que a proporção entre a metade de EP e a metade de DO, ou entre PE e OD). Consequentemente, a proporção entre os espaços percorridos é a mesma que o quadrado da proporção entre os tempos; o que queríamos demonstrar. Fica, portanto, claro que a proporção entre as distâncias é igual ao quadrado da proporção entre as velocidades máximas, a saber, entre as linhas PE e OD, posto que PE está para OD assim como EA está para DA (GALILEI, 1985, p. 137-138).

Em resumo, no primeiro tempo AD o móvel percorre o espaço HL, que como vemos na figura é igual a 1 (1^2); no segundo tempo DE o móvel percorre o espaço LM, em que M é igual a 4 (2^2); no terceiro tempo EF o móvel percorre o espaço MN, no qual N é igual a 9 (3^2); no quarto tempo FG o móvel percorre o espaço NI, em que I é igual a 16 (4^2), e assim sucessivamente. Prova-se, assim, que os espaços percorridos pelo móvel em movimento uniformemente acelerado estão entre si como os quadrados dos tempos.

Ademais, Galileu retoma a seguir a ideia de que a aceleração dos graves é dada pela sequência dos números ímpares, transformando-a no Corolário I do supracitado teorema. Segundo o autor, os espaços HL, LM, MN e NI estão entre si como a série de números ímpares a partir da unidade. Isso significa que entre H e L existe um distanciamento igual a 1; entre L e M, um distanciamento igual a 3; entre M e N, um distanciamento igual a 5, e entre N e I um distanciamento igual a 7, como demonstra a Figura 29. Assim, se a sequência continuasse, os próximos distanciamentos seriam iguais a 9, 11, 13 e assim sucessivamente. Dessa forma, Galileu prova o seu Corolário, cuja redação é a seguinte:

Corolário I – Daí, segue-se claramente que, se a partir do primeiro instante do movimento fossem tomados sucessivamente intervalos de tempos iguais, como, por exemplo, AD, DE, EF, FG nos quais se percorrem os espaços HL, LM, MN, NI, estes espaços estariam entre si assim como os números ímpares a partir da unidade, a saber, 1, 3, 5, 7: esta é, com efeito, a proporção entre os excessos dos quadrados das linhas que se excedem igualmente, diferença essa que é igual à menor delas, ou seja, à proporção entre os quadrados dos números inteiros que se seguem à unidade. Quando, portanto, os graus de velocidade aumentam em tempos iguais, de acordo com a simples série dos números, os espaços percorridos em tempos iguais adquirem incrementos segundo a série dos números ímpares *ab unitate* (GALILEI, 1985, p. 138).

Ou seja, o raciocínio de Galileu a respeito da forma como ocorre a aceleração dos graves é idêntica à argumentação de Oresme em relação às qualidades dos sujeitos, reforçando a tese de que este é um precursor da ciência moderna, especialmente no que tange à semelhança entre as argumentações aplicadas à resolução de problemas.

6.6 Considerações sobre a astrologia

Um último aspecto que pode ser destacado em relação às contribuições de Oresme para a história do pensamento diz respeito à astrologia. Conforme exposto no tópico 4.2⁵³⁵, Oresme foi um oponente convicto desse tipo de prática, em uma época em que a astrologia era tida em alta conta por consideráveis estratos da sociedade, inclusive pelas mais altas esferas de poder, como na própria corte do rei Carlos V. Nesse sentido, pode-se considerar Oresme um inovador, alguém que com sua capacidade analítica verificou que a astrologia não poderia ser considerada um saber confiável, como já foi

⁵³⁵ Páginas 168 a 178.

destacado. A questão que interessa aqui é que uma das características da época moderna foi o crescente descrédito pelo qual passou a astrologia. De acordo com Thomas Kuhn, a concepção da Terra como um planeta como qualquer outro tirou muito da credibilidade da qual desfrutava a astrologia:

A astrologia, no entanto, e a percepção do poder celeste que a apoia perdem muita plausibilidade se a Terra for um planeta. Uma Terra planetária actuará com tanta força sobre Saturno como Saturno pode actuar sobre ela; o mesmo argumento aplica-se aos outros planetas; e a dicotomia celeste-terrestre quebra-se. Se a Terra é um corpo celeste deve partilhar da imutabilidade do céu, e o céu, por sua vez, deve participar na corruptibilidade da Terra. Não pode ser coincidência que o controlo exercido pela astrologia sobre o espírito humano se atenuasse precisamente no período em que a teoria de Copérnico começou a ganhar aceitação. Pode mesmo ter significado que Copérnico, o autor da teoria que por fim destituiu os céus do poder especial, pertencesse a um grupo minoritário de astrónomos renascentistas que não faziam horóscopos (KUHN, 2002, p. 111)⁵³⁶.

Sendo assim, Oresme também poderia ser considerado um precursor de um pensamento moderno mais afeito à ciência, que começou a destituir a astrologia do papel central que ela exercia durante parte da Idade Média e início da Idade Moderna⁵³⁷.

⁵³⁶ As palavras “actuará” e “actuar” estão com essa grafia por se tratar de uma tradução portuguesa da obra de Kuhn.

⁵³⁷ De acordo com Kuhn, “durante os cinco séculos após o nascimento de Cristo, e mais uma vez durante os finais da Idade Média e do Renascimento, a astrologia era o guia dos reis e dos seus povos, e não é por acaso que estes são precisamente os períodos durante os quais a astronomia com uma Terra central fez progressos mais rápidos” (KUHN, 2002, p. 110).

CONCLUSÃO

O presente trabalho objetivou responder à pergunta-título da pesquisa, ou seja, se Nicole Oresme pode ser considerado um precursor da ciência moderna, no sentido de ter antecipado algumas teses de Copérnico e Galileu no tocante à Astronomia e à Física. Dado que, em Filosofia da Ciência, é crucial entender o desenvolvimento histórico de cada termo, para que se possa compreendê-lo, realizou-se um estudo amplo do conceito de movimento, entendido exclusivamente como deslocamento de um lugar a outro. Com esse intuito, foi fundamental retroceder até Aristóteles, pois o estudo da dinâmica aristotélica é de suma importância para compreender a ciência antiga e medieval. Sendo assim, o Capítulo 1 foi dedicado à filosofia do Estagirita, nomeadamente a sua filosofia natural, que engloba o seu entendimento acerca do movimento. Aristóteles escreveu muito sobre o assunto, e este trabalho proporcionou um apanhado geral da física aristotélica, abordando temas como o movimento retilíneo e circular, natural e não-natural, simples e composto, etc. Contudo, um dos pontos principais do capítulo é a exposição do entendimento aristotélico acerca do movimento dos projéteis, pois esse assunto continuou sendo muito discutido nos séculos seguintes, inclusive com críticas às soluções do Estagirita para explicar como determinado corpo mantinha o seu movimento antinatural depois da perda do contato com o agente motor.

No Capítulo 2, foram discutidos temas concernentes ao desenvolvimento da ciência antiga e medieval, englobando um período histórico extenso, desde a morte do Estagirita e sua sucessão no Liceu por Teofrasto até a crítica de Tomás de Aquino à física aristotélica, no século XIII. Trata-se de um conjunto heterogêneo de pensadores que, de alguma forma, desempenharam um papel na construção do saber científico, especialmente no que diz respeito ao estudo do movimento. Dentre os autores abordados, destaca-se o nome de Filopono de Alexandria, que de acordo com Fátima Évora, desenvolveu uma dinâmica alternativa a do Estagirita⁵³⁸. Dada a importância do personagem, sua contribuição ao pensamento científico foi apresentada em quatro tópicos do Capítulo 2, com o estudo das suas críticas à argumentação aristotélica sobre o vazio, sua concepção acerca da queda dos corpos, sua explicação para o movimento natural e antinatural no vazio e, por fim, suas críticas a Aristóteles no tocante ao

⁵³⁸ ÉVORA, 1995a, p. 291.

movimento antinatural, isto é, ao movimento dos projéteis. Ademais, o capítulo também apresentou um breve estudo sobre a filosofia islâmica, bem como as contribuições de Roberto Grosseteste e Tomás de Aquino ao estudo do movimento.

Por sua vez, o Capítulo 3 apresentou uma análise acerca do século XIV, de modo a contextualizar a época em que Oresme viveu, em especial no que concerne ao desenvolvimento científico do período. Em relação a isso, o ponto principal foi o estudo dos calculadores do *Merton College*, nomeadamente William Heytesbury e o seu teorema da velocidade média, que mais tarde seria representado geometricamente por Oresme e consiste em um dos aspectos mais significativos de sua obra. Por fim, o capítulo apresentou a teoria do *impetus* de Jean Buridan que, de certa maneira, também influenciou o trabalho de Oresme.

A segunda parte do trabalho inicia-se com o Capítulo 4, que apresenta um apanhado geral da obra de Oresme. Esse capítulo expôs um relevante recorte da extensa obra do pensador francês, abordando temas como a relatividade do movimento, o movimento composto, a possibilidade de rotação da Terra e considerações aritméticas acerca da quantificação das qualidades. O capítulo apresenta detalhadamente as passagens dos textos de Oresme que guardam semelhança com os escritos de Copérnico e Galileu, de modo a sustentar a hipótese de que estes tiveram o autor francês como precursor. Além disso, o capítulo trouxe uma discussão acerca da astrologia, tema que, embora pseudocientífico, está associado à incomensurabilidade dos movimentos celestes, que também foi objeto de estudo de Oresme.

Com o intuito de apresentar as discussões contemporâneas acerca da filosofia de Oresme, o Capítulo 5 trouxe a contribuição de uma série de pensadores, cujas opiniões diversas a respeito do assunto evidenciam que existem controvérsias sobre o tema, sendo que alguns desses comentadores também apontam semelhanças entre a obra oresmiana e galileana. Pierre Duhem apontou que Oresme foi um precursor de Copérnico e Galileu, e isso, ao meu ver, reforça a tese de que Oresme foi um precursor da ciência moderna. Edward Grant, por sua vez, diz que a semelhança entre os medievais e Galileu talvez seja mera coincidência. Entretanto, Lindberg defende que Galileu conhecia os trabalhos dos medievais, pois, para ele, é implausível que Galileu desconhecesse os seus precursores do século XIV. Já Clagett aponta que não há

evidências de que Galileu tenha lido Oresme. Quanto a Laird, ele diz que se Oresme tivesse aplicado a regra dos números ímpares às distâncias percorridas em tempos iguais por um movimento uniformemente acelerado, ele teria enunciado a regra que, anos depois, seria proclamada por Galileu, isto é, o Corolário I ao Teorema II acerca do movimento naturalmente acelerado. Por fim, Kuhn aponta que não podemos ter certeza de que Copérnico e Galileu tenham lido Oresme.

No Capítulo 5, os estudos acerca da obra de Oresme apontam, de modo mais ou menos enfático, que o pensador francês foi sim um precursor da ciência moderna. Essa tese, inicialmente proposta por Pierre Duhem, a meu ver encontra respaldo nos trabalhos mais recentes dos comentadores de Oresme. Dessa forma, o desenvolvimento do Capítulo 5 já apontava, de modo implícito, para uma conclusão afirmativa no tocante ao questionamento levantado por este trabalho.

Por fim, o Capítulo 6 foi dedicado a apresentar passagens relevantes das obras de Copérnico e Galileu, comparando-as com os textos de Oresme estudados no Capítulo 4. Esse capítulo demonstrou a semelhança entre o trabalho de Oresme e a obra copernicano-galileana, tornando evidente a conclusão afirmativa à pergunta sobre se Oresme foi um precursor da ciência moderna.

Diante de tudo o que foi exposto nos Capítulos 4 a 6, entendo que Oresme foi um precursor da ciência moderna. Porém, algumas considerações finais ainda são necessárias. A primeira é que, como ficou claro a partir dos três primeiros capítulos deste trabalho, as contribuições de Oresme ao pensamento científico-filosófico não surgiram do nada, mas de certa forma foram resultado de um longo desenvolvimento da ciência anterior a ele. Um exemplo disso é o teorema da velocidade média, cujo enunciado não foi feito por Oresme, mas pelo seu predecessor Heytesbury, um dos “calculadores” de Merton. A essa ideia, Oresme acrescentou a representação geométrica que, mais tarde, também seria proposta por Galileu em seu *Discorsi*. Esse exemplo demonstra que a ciência é um empreendimento coletivo, no qual cada pensador contribui de alguma forma para o contínuo aperfeiçoamento do conhecimento.

Em segundo lugar, e mais importante, é que demonstrar que Oresme foi um precursor de Copérnico e Galileu não significa, de forma alguma, diminuir a

contribuição que esses autores modernos legaram à ciência, mas unicamente apontar para o fato de que, antes deles, alguém já tinha em mente ideias semelhantes, que no futuro provariam ser de extrema relevância para o desenvolvimento da ciência.

Em terceiro lugar, cumpre ressaltar que a originalidade desta tese reside no fato de que ela afirma, de modo incisivo, que Oresme foi um precursor da ciência moderna. Não se trata apenas de reconhecer que a ideia de Duhem está correta, mas sim apontar que boa parte dos seus sucessores no estudo da obra oresmiana também tiveram um entendimento próximo ao seu no que concerne ao pioneirismo de Oresme em relação a questões que depois foram desenvolvidas pelos cientistas modernos. Ou seja, existe uma tradição historiográfica que aponta para a tese defendida aqui.

Em quarto lugar, os estudos posteriores em história da ciência, realizados pelos autores estudados no Capítulo 5, mostram que admitir a tese contrária, ou seja, de que Oresme não foi um precursor de Galileu e Copérnico, é bastante problemática, já que significaria ignorar a profunda proximidade entre os escritos do filósofo do século XIV e as obras copernicano-galileanas. Portanto, concluo que não se pode afirmar que o trabalho de Oresme não tenha nenhuma semelhança com as ideias científico-filosóficas dos séculos XVI (Copérnico) e XVII (Galileu).

Em quinto lugar, é crucial notar que Oresme foi, inicialmente, um homem do seu tempo. Isso significa que, apesar de sua grande capacidade intelectual em propor ideias como a possibilidade de que a Terra está em rotação diária ao invés dos céus, Oresme não rompeu com a tradição de sua época, muito ancorada na religião. Por esse motivo ele não se comprometeu completamente com a tese da rotação terrestre, pois isso implicaria renunciar ao lugar privilegiado que a Terra ocupava na visão de mundo daqueles tempos, e que fora definida por Deus. Como visto no Capítulo 4, Oresme disse acreditar que os céus se movem, e não a Terra, apesar de não haver uma prova conclusiva para corroborar essa tese. Com isso, Oresme mostrou que, a despeito da inovação de seu pensamento, ele continuava comprometido com o dogma cristão, afastando assim possíveis conflitos com o clero católico da época.

Conforme dito acima, o Capítulo 6 fornece uma série de elementos que apontam para a tese defendida aqui. No tópico 6.1 foi apresentada a questão acerca da

relatividade do movimento, aspecto que Oresme reconhece no seu *Le Livre du ciel et du monde*, Livro II, Capítulo XXV, quando ele afirma que um movimento só pode ser percebido caso seja perceptível a mudança de um corpo em relação a outro. Tal consideração acerca do movimento objetivava mostrar que a experiência não podia determinar que os céus estavam em movimento e a Terra não. Segundo Oresme, o possível movimento terrestre seria imperceptível para nós, que continuaríamos a ter a impressão de que os céus se movem e a Terra permanece estática. Tal ideia também foi defendida por Galileu na Segunda Jornada de seu *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, onde o personagem Salviati diz que os habitantes da Terra não percebem o movimento desta, enquanto notariam o deslocamento dos demais corpos celestes, independentemente de estes estarem em movimento ou não. Em sua argumentação, Oresme apresenta três experiências⁵³⁹ que parecem corroborar a tese contrária, ou seja, a imobilidade terrestre. Tal artifício também foi empregado por Galileu, que visava mostrar, em um primeiro momento, que seria mais plausível crer na imobilidade da Terra e na mobilidade dos céus.

Outro aspecto que merece destaque diz respeito ao movimento composto, pois Oresme, a exemplo de Galileu, também desenvolveu um argumento demonstrando que os movimentos não são apenas retilíneos ou circulares, podendo ser uma associação de ambos. Para provar seu ponto, Oresme recorre ao próprio Aristóteles, defendendo que uma porção de fogo puro se move de forma retilínea em direção à esfera do ar e ao mesmo tempo executa um movimento circular, já que as esferas do fogo e do ar possuem, no entendimento do Estagirita, movimento circular. A partir disso, Oresme defende que o movimento retilíneo ascendente de uma flecha também é, em parte, circular, acompanhando o movimento da Terra. Por sua vez, Galileu argumenta que uma pedra, ao cair rente a uma torre, também executa um movimento composto, ao despençar de forma retilínea em direção ao solo e seguir o movimento circular da torre, que acompanharia o movimento terrestre. É evidente que, nesse ponto, tanto Oresme quanto Galileu assumem como pressuposto o movimento da Terra.

Além disso, a similaridade de Oresme com os pensadores renascentistas também pode ser observada por meio do emprego do argumento do navio, segundo o qual da

⁵³⁹ ORESME, 1968a, p. 521. Ver citação na página 186 e a página 253.

mesma forma em que deslocamentos internos na embarcação não permitem concluir se ela está ou não em movimento, deslocamentos na superfície terrestre também não podem ser utilizados para provar o movimento ou repouso da Terra. Assim como o seu predecessor, Copérnico propôs uma analogia entre o movimento de um navio e o da Terra, no intuito de demonstrar a ocorrência da rotação terrestre. Para o astrônomo polonês, assim como os tripulantes do navio creem estar em repouso enquanto todo o resto se move, os habitantes da Terra têm a mesma impressão, acreditando que ela está em repouso e os céus em movimento. Ademais, Galileu também retomou o argumento do navio, para demonstrar a nulidade das experiências propostas contra o deslocamento terrestre⁵⁴⁰. Trata-se de mais um exemplo da proximidade entre os escritos de Oresme e os textos copernicano-galilaicos, que empregam o mesmo tipo de argumento para fortalecer a mesma hipótese, isto é, a da mobilidade da Terra.

A lista das semelhanças entre Oresme e a ciência moderna prossegue com o teorema da velocidade média, cujo esboço inicial encontra-se no *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum*, obra que contém a representação geométrica do teorema segundo o qual todo movimento uniformemente acelerado, que adquire quantidades iguais de velocidade em tempos iguais, percorre a distância que seria percorrida caso o movimento fosse uniforme, desde que a velocidade deste último fosse equivalente à metade do grau máximo de velocidade atingido pelo corpo em movimento uniformemente acelerado⁵⁴¹. Tal ideia também foi enunciada por Galileu na Terceira Jornada dos *Discorsi*, utilizando uma representação geométrica extremamente similar à empregada por Oresme⁵⁴², reforçando a hipótese – não comprovada – de que Galileu possa ter tido acesso aos escritos do seu predecessor francês.

Por fim, há ainda a regra de Oresme acerca das qualidades uniformemente disformes (na linguagem da física clássica, seria o movimento uniformemente

⁵⁴⁰ Ver página 259.

⁵⁴¹ Sobre isso, diz Gilson (2007, p. 850): “Estudando a variação de intensidade dessa qualidade particular que chamamos de velocidade uniformemente acelerada, Oresme mostra que podemos representá-la como equivalente a uma velocidade uniforme. O espaço percorrido por um móvel dotado de um movimento uniformemente variado é igual ao espaço percorrido no mesmo tempo por um móvel animado de um movimento uniforme e tendo uma velocidade igual à que alcança o primeiro móvel em seu instante médio. Portanto, Oresme superou João Buridano e descobriu a verdade que, por uma série contínua de numerosos intermediários, chegará até Galileu”.

⁵⁴² Página 264.

acelerado), que preceitua que tal qualidade é designada pelo quadrado do número de partes, caso essas partes sejam iguais. Galileu aplica essa regra em seu estudo acerca da aceleração dos graves, concluindo que os espaços percorridos por um móvel, a partir do repouso, estão entre si como os quadrados dos tempos decorridos⁵⁴³. Desse modo, prova-se que o raciocínio de Oresme acerca das qualidades é idêntico à reflexão galileana sobre a aceleração dos graves.

Diante de todo o exposto, a tese de que Oresme foi um precursor da ciência moderna, lançada como uma hipótese por Pierre Duhem no início do século XX, é amplamente comprovada com base nos estudos dos seus sucessores, e este trabalho é mais um a trazer detalhadamente os elementos que permitem assumir plenamente a veracidade da tese. Afinal, não seria surpreendente que pesquisas posteriores apontassem que Copérnico⁵⁴⁴ e Galileu tenham sido, de fato, leitores de Oresme, algo que, até o momento, é uma boa hipótese a ser investigada.

⁵⁴³ Ver enunciado na página 268.

⁵⁴⁴ André Goddu sugere que determinados aspectos da geometria oresmiana possam ter influenciado autores posteriores, chegando até Copérnico. Diz ele: “Historiadores têm reconhecido a engenhosidade e precocidade de Oresme em comparação com seus contemporâneos. Estudiosos, em particular Marshall Clagett, questionaram sua influência além do início do século XV. O que estou sugerindo aqui é a possibilidade de que a proposta geométrica enigmática de Oresme de um dispositivo de reciprocidade, juntamente com um modelo de epiciclo em *De sphaera*, foi a fonte latina para algumas das elaborações posteriores dessas técnicas. O caminho até Copérnico teria passado de Oresme para Hesse, Julmann e Sandivogius, e deles para Peurbach, Brudzewo e Regiomontanus. Com base no que encontramos tanto em Brudzewo quanto em Regiomontanus, podemos tentar reconstruir a elaboração dos modelos de Copérnico, e nesses casos, ao menos, temos motivos razoáveis para crer que Copérnico os conhecia. A conexão mais fraca é o seu conhecimento do tratado de Hesse, deixando-nos especular que Copérnico pode ter tido conhecimento da versão que Regiomontanus preservou, ou que Novara viu o tratado e comunicou sua solução a Copérnico” (GODDU, 2010, p. 485-486). No original: “Historians have long recognized Oresme’s ingenuity and precociousness as compared with his contemporaries. Scholars, Marshall Clagett in particular, have questioned his influence beyond the early fifteenth century. What I am suggesting here is the possibility that Oresme’s cryptic geometrical proposal of a reciprocation device along with an epicycle model in *De sphaera* was the Latin source for some of the later elaborations of these techniques. The path to Copernicus would have proceeded from Oresme to Hesse, Julmann, and Sandivogius, and from them to Peurbach, Brudzewo, and Regiomontanus. On the basis of what we find in both Brudzewo and Regiomontanus, we can try to reconstruct Copernicus’s elaboration of the models, and in these cases, at least, we have reasonable grounds for believing that Copernicus knew them. The weakest connection is his knowledge of Hesse’s treatise, leaving us to speculate that Copernicus may have been acquainted with the version of it that Regiomontanus had preserved, or that Novara saw the treatise and communicated its solution to Copernicus”.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Tomás. **Comentario a la Física de Aristóteles**. Tradução de Celina A. Lértora. Universidad de Navarra, 2001.

_____. **Comentário à física de Aristóteles: Volume II: Livro V-VIII**. Tradução de Geovane Campanher. Brasília, DF: Contra Errores, 2024.

ARCHIMEDES. **The Sand-Reckoner**, in HEATH, Thomas L. (Edit.) **The Works of Archimedes**. New York: Cambridge University Press, p. 221-232, 2010 (Cambridge Library Collection).

ARISTÓTELES. **Metafísica**. 2ª ed. Tradução e notas de Edson Bini. São Paulo: Edipro, 2012 (Ed. Bekker: 980a22–1093b29) (Série Clássicos Edipro).

_____. **Do céu**. Tradução e notas de Edson Bini. São Paulo: Edipro, 2014 (Ed. Bekker: 268a1–313b21) (Série Clássicos Edipro).

ARISTOTELIS. **De Caelo**. Introdução de D. J. Allan. New York: Oxford University Press, 1936 (Ed. Bekker: 268a1–313b21) (Oxford Classical Texts).

ARISTOTLE. **Physics. Books 1-4**. Tradução de Philip H. Wicksteed e Francis M. Cornford. Cambridge and London: Harvard University Press, 1929 (Ed. Bekker: 184a10–224a20) (Loeb Classical Library, 228).

_____. **Physics. Books 5-8**. Tradução de Philip H. Wicksteed e Francis M. Cornford. Cambridge and London: Harvard University Press, 1934 (Ed. Bekker: 224a21–267b27) (Loeb Classical Library, 255).

_____. **Physics**. Tradução, introdução e comentários de Sir David Ross. New York: Oxford University Press, 1936 (Ed. Bekker: 184a10–267b27).

_____. **On the Heavens**. Tradução de W. K. C. Guthrie. Cambridge and London: Harvard University Press, 1939 (Ed. Bekker: 268a1–313b21) (Loeb Classical Library, 338).

_____. **Physics**. Tradução de Robin Waterfield; introdução e notas de David Bostock. New York: Oxford University Press, 1996 (Ed. Bekker: 184a10–267b27) (Oxford World's Classics).

BEAUJEU, Jean. **Astronomia e Geografia Matemática**, in TATON, René (Dir.) **História Geral das Ciências – Tomo I: A Ciência Antiga e Medieval – 2º volume: As ciências no mundo greco-romano**. Tradução de Ruy Fausto e Gita K. Ghinzberg. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, p. 137-162, 1959.

BERTOLDO, Leandro. **Teoria do Ímpeto**. Rio de Janeiro: Litteris Editora, 2004.

BOSTOCK, David. **Introduction in ARISTOTLE. Physics**. Tradução de Robin Waterfield; introdução e notas de David Bostock. New York: Oxford University Press, p. vii-lxxx, 1996 (Oxford World's Classics).

BRADWARDINE, Thomas. **Treatise on Proportions**. Tradução de H. Lamar Crosby, Jr. Madison, The University of Wisconsin Press, 1961.

BRUN, Jean. **O Estoicismo**. Tradução de João Amado. Lisboa: Edições 70, 1986 (Biblioteca Básica de Filosofia, nº 29).

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

CLAGETT, Marshall. **Introduction in ORESME, Nicole. Treatise on the Configuration of Qualities and Motions**. Introdução, tradução inglesa e comentários de Marshall Clagett. Madison, Milwaukee, and London: The University of Wisconsin Press, p. 1-155, 1968b.

_____. **Preface in ORESME, Nicole. Treatise on the Configuration of Qualities and Motions**. Introdução, tradução inglesa e comentários de Marshall Clagett. Madison, Milwaukee, and London: The University of Wisconsin Press, p. ix-x, 1968b.

_____. **The Science of Mechanics in the Middle Ages**. Madison, The University of Wisconsin Press, 1961.

COHEN, M. R.; DRABKIN, I. E.. **A Source Book in Greek Science**. 1ª ed. New York, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1948.

COOPLAND, George W. **Nicole Oresme and The Astrologers: A Study of his *Livre De Divinations***. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1952.

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.

COPLESTON, Frederick. **Uma história da filosofia. Volume 1: Grécia, Roma e filosofia medieval**. 1ª ed. Tradução de Augusto Caballero Fleck, Carlos Guilherme e Ronald Robson. Campinas, SP: Vide Editorial, 2021.

CORDON, Juan M. Navarro; MARTINEZ, Tomas Calvo. **História da Filosofia. 2º Volume: Do Renascimento à Idade Moderna**. Tradução de Armindo Rodrigues. Lisboa: Edições 70, 1990.

_____. **História da Filosofia. 1º Volume: Dos Pré-Socráticos à Idade Média**. Tradução de Armindo Rodrigues. Lisboa: Edições 70, 1994.

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

CROSBY, JR. H. Lamar. **Introduction: Descriptive and Critical Analysis in BRADWARDINE, Thomas. Treatise on Proportions**. Tradução de H. Lamar Crosby, Jr. Madison, The University of Wisconsin Press, p. 18-54, 1961.

CROZON, Michel. **A Física**, in LA COTARDIÈRE, Philippe de. (Dir.) **História das Ciências – Da Antiguidade aos Nossos Dias – 1º Volume**. 1ª ed. Lisboa: Edições Texto & Grafia, p. 93-188, 2010.

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.

DAMPIER, William C. **História da ciência e das suas relações com a filosofia e a religião**. 2ª ed. Tradução de Alberto Candeias. Lisboa: Inquérito, 1945.

DESCLOS, Marie-Laurence; FORTENBAUGH, William W. (editors). **Strato of Lampsacus: text, translation, and discussion**. New York: Routledge, 2017 (Rutgers University Studies in Classical Humanities; vol. 16).

DREYER, J. L. E. **A history of Astronomy from Thales to Kepler**. New York: Dover, 1953.

DUHEM, Pierre. **Un Précurseur français de Copernic : Nicole Oresme (1377)**. Paris: Librairie Armand Colin, 1909.

_____. **Le système du monde: Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic – Tome VII**. Paris: Hermann, 1956.

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

_____. **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.

FURLEY, David. **Cosmology**, in ALGRA, K.; BARNES, J.; MANSFELD, J.; SCHOFIELD, M. (Editors) **The Cambridge History of Hellenistic Philosophy**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 412-451, 1999.

GALILEI, Galileu. **Duas 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.

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

GODDU, André. **Ockham's Philosophy of Nature**, in SPADE, Paul Vincent (Edit.) **The Cambridge Companion to Ockham**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 143-167, 1999 (Cambridge Companions to Philosophy).

_____. **Copernicus and the Aristotelian Tradition: Education, Reading, and Philosophy in Copernicus's Path to Heliocentrism**. Medieval and Early Modern Science, Volume 15. Leiden and Boston: Brill, 2010.

GRANT, Edward. **Introduction**, in ORESME, Nicole. *De proportionibus proportionum and Ad pauca respicientes*. Tradução inglesa, introdução e notas de Edward Grant. Madison, Milwaukee, and London: The University of Wisconsin Press, p. 1-122, 1966.

_____. **Introduction**, in ORESME, Nicole. **Nicole Oresme and the Kinematics of Circular Motion - Tractatus de commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum celi**. Tradução inglesa, introdução e comentários de Edward Grant. Madison, Milwaukee, and London: The University of Wisconsin Press, p. 1-169, 1971.

_____. **Physical Science in the Middle Ages**. Cambridge: Cambridge University Press, 1977 (The Cambridge History of Science Series).

_____. **Jean Buridan and Nicole Oresme on Natural Knowledge**, in *Vivarium*, vol. 31, nº 1, p. 84-105. Leiden and Boston: Brill, 1993.

GROSSETESTE, Roberto. **A luz, o tempo e o movimento**. Tradução de Renato Romano. Porto Alegre, RS: Concreta, 2016.

HANKE, Miroslav; JUNG, Elzbieta. **William Heytesbury**. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2022 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2022/entries/heytesbury/>>.

HANNAM, James. **The Genesis of Science**. Washington: Regnery Publishing, 2011.

JAPIASSÚ, Hilton; MARCONDES, Danilo. **Dicionário básico de filosofia**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1996.

KIRSCHNER, Stefan. **Nicole Oresme**. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2021 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/nicole-oresme/>>.

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).

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

KUHN, Thomas S. **A Revolução Copernicana**. Tradução de Marília Costa Fontes. Lisboa, Portugal: Edições 70, 2002 (Coleção Perfil: História das Ideias e do Pensamento, nº 2).

LAËRTIOS, Diógenes. **Vidas e doutrinas dos filósofos ilustres**. Tradução do grego, introdução e notas de Mário da Gama. 2ª ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008.

LAIRD, Walter Roy. **Change and Motion** in LINDBERG, David C.; SHANK, Michael H. (Editors) **The Cambridge History of Science – Volume 2. Medieval Science**. 1ª ed. Cambridge: Cambridge University Press, p. 404-435, 2013.

LEGRAND, Gerard. **Dicionário de Filosofia**. Tradução de Armino José Rodrigues e João Gama. Lisboa, Portugal: Edições 70, 1991.

LIBERA, Alain de. **A filosofia medieval**. Tradução de Nicolás Nyimi Campanário & Yvone Maria de Campos Teixeira da Silva. São Paulo: Edições Loyola, 1998.

LINDBERG, David C. **The beginnings of western science: the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, prehistory to A.D. 1450**. 2nd ed. The University of Chicago Press, 2007.

LOSEE, John. **Introdução histórica à filosofia da ciência**. Tradução de Borisas Cimblaris. Belo Horizonte: Editora Itatiaia; São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1979 (O homem e a ciência, vol. 5).

LOYN, Henry R. (Org.). **Dicionário da Idade Média**. Tradução de Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1990.

MARCONDES, Danilo. **Iniciação à história da filosofia: dos pré-socráticos a Wittgenstein**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2007.

MCFADDEN, Johnjoe. **A navalha de Ockham**. 1ª ed. Tradução de George Schlesinger. Rio de Janeiro: Sextante, 2022.

MCKIRAHAN, Richard D. **A filosofia antes de Sócrates: uma introdução com textos e comentários**. 1ª ed. Tradução de Eduardo Wolf Pereira. São Paulo: Paulus, 2013 (Coleção Cátedra).

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Copérnico – Pioneiro da revolução astronômica**. 1ª ed. São Paulo: Odysseus Editora, 2003 (Imortais da Ciência).

NOUGUÉ, Carlos. **Da Necessidade da Física Geral Aristotélico-Tomista in AQUINO, Santo Tomás de. Comentário à física de Aristóteles: Volume I: Livro I-IV**. Tradução de Geovane Campanher. Brasília, DF: Contra Errores, p. 24-123, 2024.

OCKHAM, William. **Reportatio** in Seleção de Obras de William of Ockham. Coleção Os pensadores, volume VIII. Tradução e notas de Carlos Lopes de Mattos. 1ª Ed. São Paulo: Abril Cultural, 1973, p. 339-404.

ORESME, Nicole. **Livre de Divinacions** in COOPLAND, George W. Nicole Oresme and The Astrologers: A Study of his *Livre De Divinacions*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, p. 49-121, 1952.

_____. *De proportionibus proportionum and Ad pauca respicientes*. Tradução inglesa, introdução e notas de Edward Grant. Madison, Milwaukee, and London: The University of Wisconsin Press, 1966.

_____. *Le Livre du ciel et du monde*. Tradução inglesa e introdução de Albert D. Menut. Madison, Milwaukee, and London: The University of Wisconsin Press, 1968a.

_____. *Treatise on the Configuration of Qualities and Motions*. Introdução, tradução inglesa e comentários de Marshall Clagett. Madison, Milwaukee, and London: The University of Wisconsin Press, 1968b.

PHILOPONUS. *Corollaries on Place and Void*. Tradução de David Furley & Christian Wildberg. London: Bloomsbury, 2014a (Ancient Commentators on Aristotle).

PHILOPONUS. *On Aristotle Physics 4.6-9*. Tradução de Pamela Huby. London: Bloomsbury, 2014b (Ancient Commentators on Aristotle).

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

PLATÃO. *Timeu-Crítias*. 1ª ed. Tradução do grego, introdução e notas de Rodolfo Lopes. Coimbra, Portugal: Centro de Estudos Clássicos e Humanísticos. Universidade de Coimbra, 2011 (Coleção Autores Gregos e Latinos: Série Textos).

PORTO, M.B.D.S.M.; PORTO, C.M. *Alguns antecedentes medievais da cinemática moderna* in Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, 2021. URL = <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/78rRT6QyLG3yBk6g8k5GCwc/?format=pdf&lang=pt>>.

REALE, Giovanni. *Introdução a Aristóteles*. Tradução de Artur Morão. Lisboa: Edições 70, 2001 (Biblioteca Básica de Filosofia, nº 42).

_____; ANTISERI, Dario. *História da filosofia: Filosofia pagã antiga*, Volume 1. 3ª ed. Tradução de Ivo Storniolo. São Paulo: Paulus, 2007.

RONAN, Colin A. *História Ilustrada da Ciência*. Vol. II – Oriente, Roma e Idade Média. Tradução de Jorge Enéas Fortes. São Paulo: Círculo do Livro S.A., 1983.

_____. *História Ilustrada da Ciência*. Vol. I – Das origens à Grécia. Tradução de Jorge Enéas Fortes. São Paulo: Círculo do Livro S.A., 1987.

ROSMORDUC, Jean. *Uma História da Física e da Química (De Tales a Einstein)*. Tradução de Leila Velho Castro Faria. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1988.

ROSS, Sir David. *Aristóteles*. 1ª ed. Tradução de Luís Filipe Bragança S. S. Teixeira. Lisboa, Portugal: Publicações Dom Quixote, 1987 (Coleção Opus – Biblioteca de Filosofia, nº 3).

SARANYANA, Josep-Ignasi. *A filosofia medieval – das origens patrísticas à escolástica barroca*. Tradução de Fernando Salles. São Paulo: Instituto Brasileiro de Filosofia e Ciência “Raimundo Lúlio” (Ramon Llull), 2006.

WEINBERG, Steven. **Para explicar o mundo: a descoberta da ciência moderna.** 1^a ed. Tradução de Denise Bottmann. São Paulo: Companhia das Letras, 2015.