

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA E A**  
**MATEMÁTICA**

**DANILO RICARDO ROSA DE SÁ**

**O PRINCÍPIO DE INÉRCIA SOB ASPECTOS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS –**  
**UMA POSSIBILIDADE CONTRIBUTIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA**

**MARINGÁ**

**2020**

DANILO RICARDO ROSA DE SÁ

**O PRINCÍPIO DE INÉRCIA SOB ASPECTOS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS –  
UMA POSSIBILIDADE CONTRIBUTIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas, da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática.

Área de concentração: História, Epistemologia e Ética da Ciência

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

MARINGÁ

2020

2

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S111p

Sá, Danilo Ricardo Rosa de

O princípio de inércia sob aspectos histórico-epistemológicos : uma possibilidade contributiva para o ensino de física / Danilo Ricardo Rosa de Sá. -- Maringá, PR, 2020. 149 f.: il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves.

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática, 2020.

1. Ensino de física. 2. História da ciência. I. Neves, Marcos Cesar Danhoni, orient. II. Gardelli, Daniel, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática. IV. Título.

CDD 23.ed. 530.7

Márcia Regina Paiva de Brito - CRB-9/1267

**DANILO RICARDO ROSA DE SÁ**

**O princípio de inércia sob aspectos histórico epistemológicos – uma possibilidade contributiva para o Ensino de Física**

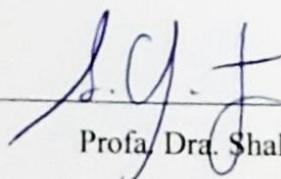
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em *Ensino de Ciências e Matemática*.

**BANCA EXAMINADORA**



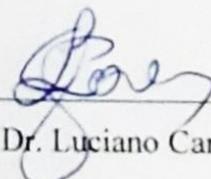
---

Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves  
Universidade Estadual de Maringá - UEM



---

Profa. Dra. Shalimar Calegari Zanatta  
Universidade Estadual do Paraná – UNESPAR



---

Prof. Dr. Luciano Carvalhais Gomes  
Universidade Estadual de Maringá - UEM

“Permaneço até o dia de hoje como a única pessoa que insiste em referir a lei de inércia à Terra e, no caso de movimentos de grande extensão espacial e temporal, às estrelas fixas” (MACH, in *The Science of Mechanics*, de 1912).

Dedico este trabalho à minha mãe.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha mãe, Sílvia, por ter me ajudado nos momentos em que se tornaram necessários os seus cuidados. Por sua incansável luta em me prover muitos privilégios que facilitam a minha caminhada. Por sua paciência e compreensão para com meus erros.

Agradeço aos amigos que o curso de Mestrado me apresentou. Por nossas risadas, conflitos, discussões, reflexões, correções de trabalho, indicações de artigos e por serem companheiros de estudo. Em particular, agradeço ao meu amigo Kleber Niro pelas inúmeras discussões históricas e filosóficas acerca da Física e da Matemática, bem como sobre política, educação e vida. Ao meu querido amigo e companheiro assíduo de estudos nas “baias” do PCM, um muito obrigado.

Agradeço, também, ao meu fiel amigo de trabalho Hugo Shigueo, com quem tenho tido um vínculo de amizade cada vez mais forte desde a graduação. Obrigado por ter contribuído de inúmeras maneiras com a minha progressão profissional e pessoal. Pelas grandes discussões subversivas acerca de Feyerabend, do atual cenário político, da história, da epistemologia e da filosofia da Ciência. Pelas indicações de música, livros, textos e trabalhos. Pelas inúmeras correções de gramática. E, principalmente, por estar presente durante os tempos mais sombrios.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves, que desde a época que era tutor do grupo PET-Física, exalava inspiração para o conhecimento. Além disso, agradeço por ser um indivíduo que instiga a elevação do senso crítico, por meio de seus diálogos que variam da ironia e sarcasmo até a acidez incisiva.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Daniel Gardelli, eu agradeço por ter corrompido os jovens maringenses (ironia com alusão à Sócrates). Por incentivar à leitura e pluralidade do pensamento. Pela incrível amizade construída e pela demonstração experimental de que é possível e necessário quebrar a barreira entre professores e alunos.

Agradeço à Juliana Gardelli, por nunca reclamar dos “gritos virtuais” e inesperados que clamavam pela presença imediata do coorientador.

Aos tantos outros professores que contribuíram de forma direta e/ou indireta, os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço à Sandra, secretária do PCM, pelas conversas, brincadeiras espontâneas e necessárias durante todo o curso. E, claro, por sempre responder aos meus e-mails mais dúbios.

Também deixo meus sinceros agradecimentos aos membros da banca examinadora, Prof. Luciano Carvalhais Gomes, pela disponibilidade para ler meu trabalho, pelas

contribuições feitas durante o exame de qualificação, pelas duras críticas que foram lançadas, de forma atenciosa, durante a sala de aula e, também, nos encontros do PIBID; e Profa. Dra. Shalimar Calegari Zanatta, também pela disponibilidade para ler meu trabalho e pelas contribuições feitas durante o exame de qualificação.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa de Mestrado.

# **O PRINCÍPIO DE INÉRCIA SOB ASPECTOS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS – UMA POSSIBILIDADE CONTRIBUTIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA**

## **RESUMO**

Ao longo das últimas décadas, pesquisadores têm discutido o modo como alguns episódios históricos podem ser trabalhados em sala de aula. Nesse sentido, o presente trabalho assume que a utilização da História da Ciência pode ser benéfica para o Ensino, seja ele voltado para a Graduação ou para o Ensino Médio, tratando-se especificamente da área da Física. Assim, com a intenção de proporcionar maiores discussões em sala de aula, mostrar uma visão não linear e menos ingênua da Ciência, em que somente algumas mentes brilhantes são as detentoras do processo de criação das ideias da Física, adotamos uma perspectiva histórica para o Princípio de Inércia. Dessa maneira, realizamos um resgate dos conceitos e críticas ao longo de alguns episódios históricos, partindo da concepção do movimento aristotélico até a elaboração final do que conhecemos atualmente como a primeira lei de Newton (1624-1727). Mostramos, também, a relação entre a história do tema abordado com as concepções alternativas encontradas em alunos de todos os graus de escolaridade, de forma a salientar os benefícios que podem ser utilizados quando o professor está consciente das concepções de pensadores do passado e das concepções alternativas dos estudantes. Vale ressaltar, que esta pesquisa de Mestrado é de cunho qualitativo com base na metodologia documental que visa uma possível contribuição para os professores que desejam implementar os aspectos históricos em sala de aula. Por fim, este trabalho apresenta uma possibilidade alternativa de abordagem, histórico-epistemológica, para o conceito de Inércia.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. História da Ciência. Princípio de Inércia. Conservação do Movimento.

## **THE PRINCIPLE OF INERCIA UNDER HISTORIC-EPISTEMOLOGICAL ASPECTS - A CONTRIBUTING POSSIBILITY FOR PHYSICAL EDUCATION**

### **ABSTRACT**

Over the past few decades, researchers have discussed how some historical episodes can be worked in the classroom. Therefore, the present work assumes that the use of the History of Science can be beneficial for teaching, whether it is aimed at Graduation or High School, dealing specifically with subjects related to the Field of Physics. Therefore, with the intention of providing greater discussions in the classroom, showing a non-linear and less naive view of Science, in which only a few brilliant minds are the holders of the process of creating the ideas of Physics, we adopt a historical perspective for the Principle of Inertia. In this way, we made a rescue of the concepts and criticisms throughout some historical episodes, starting from the conception of the Aristotelian movement until the final elaboration of what we know today as Newton's first law (1624-1727). We also show the relationship between the history of the topic addressed and the alternative concepts found in students of all levels of education, in order to highlight the benefits that can be used when the teacher is aware of the concepts of past thinkers and the student's alternatives conceptions. It is worth mentioning that this Master's research is of a qualitative nature based on the documentary methodology that aims at a possible contribution for teachers who wish to implement historical aspects in the classroom. Finally, this work presents an alternative, historical and epistemological, approach to the concept of Inertia.

**Keywords:** Physics Teaching. History of Science. Principle of Inertia. Conservation of Motion.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - MAPA ATUAL E REPRESENTATIVO DA REGIÃO EGÉU.....	21
FIGURA 2 - ILUSTRAÇÃO DA ARGUMENTAÇÃO À ESFERICIDADE DA TERRA FEITA POR ARISTÓTELES.....	29
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DA ORDENAÇÃO DO UNIVERSO ARISTOTÉLICO.....	34
FIGURA 4 – DIAGRAMA REPRESENTATIVO RELACIONADO AOS TIPOS DE MUDANÇA NO MUNDO ARISTOTÉLICO. ....	40
FIGURA 5 – ILUSTRAÇÃO PARA ELUCIDAR A ARGUMENTAÇÃO CONTRA A PLURALIDADE DOS MUNDOS. ....	42
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DO MOVIMENTO VIOLENTO DE ACORDO COM A SUBSTITUIÇÃO RECÍPROCA. ....	48
FIGURA 7 – REPRESENTAÇÃO ILUSTRATIVA DA TRAJETÓRIA DE PROJÉTEIS SEGUNDO A VISÃO ARISTOTÉLICA. ....	50
FIGURA 8 – REPRESENTAÇÃO ILUSTRATIVA DA TRAJETÓRIA DE PROJÉTEIS PREVISTA PELA TEORIA DO ÍMPETO MEDIEVAL. ....	58
FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO DE UMA FUNDA RETIRADA DO LIVRO PRINCÍPIOS DA FILOSOFIA. ....	82
FIGURA 10 – QUESTÃO DE LANÇAMENTO OBLÍQUO APLICADA POR VIENNOT.....	97
FIGURA 11 – QUESTÃO MASSA-MOLA APLICADA POR VIENNOT.....	98
FIGURA 12 – QUESTÃO DE LANÇAMENTO VERTICAL APLICADA POR CLEMENT.....	101
FIGURA 13 – QUESTÃO ACERCA DO MOVIMENTO DE UM FOGUETE APLICADA POR CLEMENT. ....	102
FIGURA 14 – IMAGEM DA TABELA DE RESULTADOS APRESENTADA NO ARTIGO DE CLEMENT. ....	103
FIGURA 15 – QUESTÃO DO PÊNDULO PROPOSTA POR McDERMOTT.....	107
FIGURA 16 – QUESTÃO DA CORDA ROMPIDA EM UM PÊNDULO, PROPOSTA POR McDERMOTT. ....	107
FIGURA 17 – QUESTÃO DO POÇO INFINITO, PROPOSTA POR PEDUZZI.....	109
FIGURA 18 – RESPOSTA DA QUESTÃO DA FIGURA 17, DE ACORDO COM OS ALUNOS E PEDUZZI, RESPECTIVAMENTE. ....	109
FIGURA 19 – QUESTÃO DO AVIÃO PROPOSTA POR PEDUZZI. ....	110
FIGURA 20 – QUESTÃO NÚMERO 1 DE LANÇAMENTO VERTICAL, PROPOSTA POR PEDUZZI E PEDUZZI.....	111
FIGURA 21 – QUESTÃO DA LANÇA PROPOSTA POR SONG, CHO E CHUNG.....	113
FIGURA 22 – QUESTÃO DO NAVIO PROPOSTA POR SONG, CHO E CHUNG.....	114
FIGURA 23 – QUESTÃO DE LANÇAMENTO VERTICAL, EM ANEXO, PROPOSTA POR SEBASTIA. ....	140

FIGURA 24 – RESPOSTA DA QUESTÃO DE LANÇAMENTO VERTICAL, EM ANEXO, PROPOSTA POR SEBASTIA.....	141
FIGURA 25 – QUESTÃO, MOVIMENTO CIRCULAR, EM ANEXO, PROPOSTA POR SEBASTIA.....	141
FIGURA 26 – RESPOSTA DA QUESTÃO ACERCA DO MOVIMENTO CIRCULAR, EM ANEXO, PROPOSTA POR SEBASTIA.....	142
FIGURA 27 – QUESTÕES 2 E 3 ACERCA DA FORÇA, EM ANEXO, PROPOSTA POR PEDUZZI E PEDUZZI.....	143
FIGURA 28 – QUESTÃO 4 ACERCA DA FORÇA, EM ANEXO, PROPOSTA POR PEDUZZI E PEDUZZI.....	144
FIGURA 29 – QUESTÃO 5 ACERCA DA FORÇA, EM ANEXO, PROPOSTA POR PEDUZZI E PEDUZZI.....	145
FIGURA 30 – QUESTÃO 1, NO ORIGINAL, APLICADA POR SONG, CHO E CHUNG.....	146
FIGURA 31 – IMAGEM DA TABELA DE RESPOSTAS DA QUESTÃO 1 APLICADA POR SONG, CHO E CHUNG.....	146
FIGURA 32 – QUESTÃO 2, NO ORIGINAL, APLICADA POR SONG, CHO E CHUNG.....	146
FIGURA 33 – IMAGEM DA TABELA DE RESPOSTA DA QUESTÃO 2, NO ORIGINAL, DE SONG, CHO E CHUNG.....	147
FIGURA 34 – IMAGEM DA TABELA DA PRIMEIRA PARTE DAS RESPOSTAS DA QUESTÃO 3, NO ORIGINAL, DE SONG, CHO E CHUNG.....	148
FIGURA 35 – QUESTÃO 3, NO ORIGINAL, PROPOSTA POR SONG, CHO E CHUNG.....	148
FIGURA 36 – IMAGEM DA SEGUNDA PARTE DAS RESPOSTAS DA QUESTÃO 3, NO ORIGINAL, DE SONG, CHO E CHUNG.....	149

### **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – IMAGEM DA TABELA ACERCA DOS RESULTADOS DOS TESTES APLICADOS POR VIENNOT.....	99
TABELA 2 – TABELA DE RESPOSTAS.....	112

### **LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 – QUADRO DE RESUMO DO PRINCÍPIO DE INÉRCIA.....	129
--	-----

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>ASPECTOS HISTÓRICOS ACERCA DA CONSERVAÇÃO DO MOVIMENTO</b>	<b>20</b>
3.1	ARISTÓTELES DE ESTAGIRA .....	20
3.1.1	A Grécia e o despertar do pensamento humano .....	20
3.1.2	Aspectos biográficos .....	25
3.1.3	O universo ordenado de Aristóteles.....	27
3.1.4	O movimento natural da região sublunar .....	34
3.1.5	Os movimentos naturais como argumentação acerca da configuração do mundo aristotélico .....	40
3.1.6	O movimento violento e a <i>antiperistasis</i> .....	44
3.2	JOÃO FILOPONO DE ALEXANDRIA .....	50
3.3	JEAN BURIDAN .....	54
3.4	GIORDANO BRUNO .....	58
3.5	GALILEU GALILEI .....	62
3.5.1	O Porão do Navio de Galileu.....	64
3.5.2	A conservação do movimento segundo o Diálogo .....	67
3.5.3	A Ciência de Galileu, de acordo com Feyerabend e outros pensadores.....	72
3.6	RENÉ DESCARTES .....	77
3.6.1	As Leis da natureza.....	79
3.6.2	A Fundamentação Teológica de Descartes.....	84
3.7	ISAAC NEWTON .....	87
3.7.1	O Princípio de Inércia.....	91
<b>4</b>	<b>UMA BREVE APRESENTAÇÃO SOBRE AS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DA DINÂMICA ELEMENTAR .....</b>	<b>96</b>
4.1	LAURENCE VIENNOT .....	97

4.2	JOHN CLEMENT .....	100
4.3	ARDEN ZYLBERSZTAJN.....	104
4.4	LILLIAN CHRISTIE MCDERMOTT .....	106
4.5	JOSÉ MARIA SEBASTIA.....	108
4.6	LUIZ ORLANDO DE QUADRO PEDUZZI; SÔNIA SILVEIRA PEDUZZI .....	108
4.7	JINWOONG SONG; SOOK-KYOUNG CHO; BYUNG-HOON CHUNG .....	111
4.8	CONSIDERAÇÕES SOBRE AS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS .....	115
<b>5</b>	<b>À GUIA DE UMA CONCLUSÃO INCONCLUSA.....</b>	<b>116</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>126</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>130</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO I.....</b>	<b>138</b>
<b>9</b>	<b>ANEXO II .....</b>	<b>140</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Desde as décadas de 60 e 70, há uma tentativa de reaproximação entre a História da Ciência e o Ensino de Ciências. Em um evento em 1970, uma conferência do MIT, foi vista como positiva a reaproximação entre essas áreas, no entanto, houve quem criticou e se opôs à possibilidade de inclusão da História da Ciência em sala de aula, como Stephen George Brush (1935-), Israel Scheffler (1923-2014) e Martin Klein (1924-2009).

Também aconteceram inúmeros outros eventos que debateram sobre o assunto, como o evento de História, Filosofia, Sociologia e o Ensino de Ciências, ocorrido na Flórida em 1989. Entre outros em vários cantos da Europa (MATTHEWS, 1992).

De acordo com Brush (1974), um dos entusiastas defensores dessa reaproximação foi Ernst Mach (1838-1916). O físico e filósofo nascido na Áustria defendia que conhecer o desenvolvimento da Ciência tem o potencial de analisar de maneira mais coerente e livre os atuais acontecimentos científicos (MACH, 1960 apud BRUSH, 1974, p. 8-9).

Como as discussões geraram um certo consenso sobre a importância de tal disciplina ser incluída nas salas de aula, as discussões tomaram outro caminho, no qual há argumentações que estão relacionadas ao momento e, principalmente, à maneira pela qual a abordagem histórica pode ser mais adequada. Martins (2006b), por exemplo, discute a importância da História da Física no Ensino de Ciências e levanta alguns problemas que podem surgir ao trazer a história de maneira equivocada e reduzida, ou ainda, por meio de anedotas.

Essas discussões fomentadas anteriormente, acerca da inclusão do aspecto histórico, se tornam importantes para introduzir o problema de nossa pesquisa, uma vez que esta está relacionado aos trabalhos que surgiram na década de 70 e 80, tentando relacionar as concepções dos alunos, ditas hoje alternativas, com as concepções de pensadores que fizeram parte da história. Sendo assim, o pensamento, as críticas e as mudanças históricas, que culminaram em um determinado conceito, foram importantes no momento de relacionar e entender as concepções dos estudantes.

É a partir das concepções alternativas sobre o conceito de movimento, que estão presentes no pensamento dos alunos e resistem a modificações, que desenvolvemos nosso trabalho com foco no Princípio de Inércia.

Diante disso, este trabalho tem o seguinte objetivo geral:

- resgatar alguns episódios históricos que se relacionam com o conceito de inércia, a fim de contribuir para uma desconstrução de uma visão linear e racionalista da Ciência criada por somente “gênios”.

Já os objetivos específicos são:

- fornecer subsídios para o professor que deseja abordar as mudanças conceituais do Princípio de Inércia em suas aulas, como a ação de resgatar algumas pesquisas sobre as concepções alternativas do movimento;
- elucidar, por meio de um resgate histórico, alguns dos elementos e das críticas que influenciaram a elaboração do Princípio de Inércia.

O tema do trabalho foi escolhido a partir das pesquisas sobre concepções alternativas do movimento. Assim, para completar nosso objetivo, optamos pela pesquisa qualitativa do tipo documental. Portanto, para o resgate histórico, abordamos alguns dos pensadores que, ao longo da história, influenciaram, criticaram e criaram ideias que levaram à elaboração da Lei da Inércia, partindo de Aristóteles de Estagira (384-322 A.E.C.)<sup>1</sup> e chegando até o século XVII, com Isaac Newton (1642-1727).

Para trabalhar contra a ideia linear e racionalista da ciência, assim como os fatos históricos e a sua relação com o Ensino, evocamos algumas discussões de Paul Karl Feyerabend (1924-1994) que foram inseridas neste trabalho quando conveniente. A escolha se justifica pelo fato de que esse epistemólogo realizou duras críticas ao pensamento racionalista para com a Ciência, abordando uma perspectiva diferente diante de Galileu e propondo uma concepção distinta sobre o empreendimento que é a Ciência.

Por fim, de forma geral, este trabalho teve a intenção de contribuir para o entendimento do conceito de Princípio de Inércia, aparentemente simples em função da maneira como é apresentado pelos livro-textos usados no curso de graduação e no Ensino Médio, embora seja um assunto constituído de grande complexidade. A razão e o sentimento pelo qual escolhemos esse conceito, ou, mais especificamente, alguns episódios históricos que precedem tal princípio, é igualmente expresso por Koyré, afinal a inércia:

É a lei fundamental do movimento. O princípio reina implicitamente na física de Galileu, explicitamente na de Descartes e de Newton. Mas limitar-se a essa característica me parece um tanto superficial. [...] não basta estabelecer um fato. Devemos compreendê-lo e explica-lo, explicar por que a física *moderna* foi capaz de adotar esse princípio; compreender por que e como o princípio

---

<sup>1</sup> A.E.C. corresponde à “Antes da Era Comum” que condiz com uma versão laica do termo a.C. (“Antes de Cristo”).

da inércia, que nos parece tão simples, [...] adquiriu esse *status* de evidência e de verdade *a priori*, enquanto, para os gregos, tanto quanto para os pensadores da Idade Média, a ideia de que um corpo, uma vez em movimento, continuasse a se mover para sempre parecia evidentemente falsa e até absurda (KOYRÉ, 2011, p. 169).

Este estudo foi estruturado de forma a conter dois capítulos principais, a saber: os capítulos 3 e 4. O capítulo 3 corresponde ao resgate de alguns episódios históricos que estão relacionados com conservação do movimento. Assim, iniciamos com a apresentação do mundo grego e do universo de Aristóteles (384-322 A.E.C.), passando por outros pensadores que contribuíram de alguma forma com essa discussão, tais como João Filopono (490-570), Jean Buridan (1300-1358), Giordano Bruno (1548-1600), Galileu Galilei (1564-1642), René Descartes (1596-1650) e Isaac Newton (1642-1727). Embora tenhamos dedicado ao menos um subcapítulo para esses pensadores que consideramos mais importantes, o trabalho também apresenta mais alguns de modo *en passant*. Tal escolha foi feita porque os pensadores a seguir, de maneira geral, exercem influência muito pontual sobre o tema escolhido: Hiparco de Niceia (190-120 A.E.C.), Avicena (980-1037), Guilherme de Ockham (1285-1347), Leonardo da Vinci (1452-1519) e Niccolò Tartaglia (1499-1557).

Por sua vez, no capítulo 4, há um levantamento das pesquisas feitas sobre as concepções alternativas da dinâmica elementar. Como uma forma de associação entre Ensino de Física e a História da Ciência, compara algumas concepções concebidas por pensadores do passado com as concepções presentes nos alunos.

## 2 METODOLOGIA

Este trabalho de dissertação de Mestrado tem como base investigativa de pesquisa a categoria qualitativa do tipo documental. Por meio de fontes primárias e secundárias, buscamos realizar um estudo aprofundado acerca das mudanças do conceito físico que levou à elaboração da lei da inércia ao longo dos séculos, partindo da Grécia antiga até o século XVII. Nesta etapa da pesquisa, temos como foco a epistemologia do conceito, com intenção de fornecer subsídios para o professor que deseja aplicar em suas aulas abordagens de cunho conceitual e histórico.

De acordo com Goldenberg (2001), a pesquisa qualitativa não se preocupa com a quantidade de amostras ou dados, mas com a compreensão mais profunda de um determinado grupo. Isto é, não se usa o método científico proveniente do movimento positivista como único método para a realização da pesquisa, diferenciando-se por suas várias metodologias próprias que buscam facilitar ou ser mais coerentes com o objetivo de cada pesquisa.

Ainda segundo Goldenberg (2001), a pesquisa qualitativa teve um aumento enquanto atividade, principalmente nas áreas de Psicologia e Educação, uma vez que as pesquisas não buscam resultados com precisão matemática de grandes amostras, mas, sim, explicações mais subjetivas como o porquê dos fenômenos e/ou fatos históricos, levando não a resultados, mas a considerações finais. Dessa forma, essa modalidade de pesquisa tem foco entender “[...] o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis” (MINAYO, 2001 apud SILVEIRA; CÓRDOVA, 2009, p. 31).

Na pesquisa documental, apesar da semelhança com a pesquisa bibliográfica, procura-se por fontes mais variadas, como vídeos, artigos e documentários, ao invés de somente fontes primárias (FONSECA, 2002). De acordo com Santos (2018, p. 22), a utilização de tais fontes deve ser valorizada, pois a extração de informação justifica o uso em muitas áreas, aumentando a “[...] compreensão da contextualização histórica e sociocultural”

Diante dessa perspectiva de pesquisa documental, utilizamos fontes primárias e secundárias para discutir as mudanças, inspirações, explicações e conflito de ideias que levaram à construção da primeira Lei de Newton. É pertinente comentar que o capítulo escrito sobre Aristóteles foi realizado com uma ligeira diferença: por um processo de cotejamento entre fontes primárias em língua portuguesa e inglesa, além de fontes secundárias.

Para esse resgate histórico, tomamos conhecimento da existência de um aspecto léxico diferente do que existe na atualidade. Isto é, entendemos que há um conjunto de palavras,

principalmente na antiguidade que, embora correspondam exatamente a nossa “escrita”, não comportam o mesmo significado. Dificilmente conseguiríamos nos atentar a todo léxico existente na história, entretanto realizamos um esforço adicional ao tentar trazer o quanto foi possível dessas diferenciações. A ideia do aspecto léxico foi retirada da obra *O caminho desde a estrutura*, de Thomas Samuel Kuhn:

[...] para compreender algum corpo de crenças científicas passadas, o historiador precisa adquirir um léxico que, aqui e ali, difere sistematicamente daquele corrente em sua própria época. Apenas usando esse léxico mais antigo pode ele traduzir acuradamente determinados enunciados que são básicos para a ciência sob investigação. Esses enunciados não são acessíveis por meio de uma tradução que use o léxico corrente, nem mesmo se o rol de palavras nele contidas for ampliado pelo acréscimo de termos selecionados, retirados de seu predecessor (KUHN, 2006, p. 78).

Diante dessa visão de historiador da Ciência apontada por Kuhn, tomamos cuidado ao realizar o resgate histórico, principalmente em Aristóteles, visto que muitas palavras que são utilizadas pelo filósofo grego têm um contexto e uma complexidade diferente das atuais.

Um último elemento que deve ser destacado é a importância que demos às fontes primárias. Como a análise foi feita em alguns casos por fontes primárias, tentamos, na medida do possível, resgatar trechos valorizando os escritos mais próximos quanto possível dos originais, isto é, as obras traduzidas diretamente para o português brasileiro ou inglês.

De acordo com Santos (2018), usar as fontes primárias como recursos potencialmente funcionais vem sendo discutido em trabalhos recentes, porém ainda há poucas pesquisas que buscam testar a sua potencialidade. Como exemplo, o autor cita uma iniciativa que parte de um projeto chamado *Teaching with Primary Sources* (Ensinando com Fontes Primárias), o qual almeja uma forma de explorar o potencial das fontes primárias.

Dessa forma, utilizando a pesquisa qualitativa documental, a questão que este trabalho buscou responder foi levantada da seguinte forma: *de que maneira o resgate de alguns episódios histórico-epistemológicos podem contribuir para uma compreensão mais ampla do conceito de inércia?*

### **3 ASPECTOS HISTÓRICOS ACERCA DA CONSERVAÇÃO DO MOVIMENTO**

#### **3.1 ARISTÓTELES DE ESTAGIRA**

##### **3.1.1 A Grécia e o despertar do pensamento humano**

É conveniente introduzir uma contextualização histórica sobre a civilização grega antes de adentrar o mundo aristotélico, por se tratar de uma era muito distante e de importância significativa, uma vez que influenciou toda a Ciência ocidental.

Ao contrário dos povos antigos, os gregos passaram a afastar a magia, os deuses e os mitos de suas explicações sobre o mundo natural, a partir das quais era elaborado um esquema, um conjunto de ideias a partir da racionalização e da observação (RONAN, 1987). Tratava-se de uma tentativa de entender o mundo sob um olhar que buscava relações entre as causas e os efeitos, tornaram-se assim: “[...] os primeiros filósofos da natureza que formaram ideias e criaram interpretações que podiam manter-se por si mesmas, sem invocar qualquer deus para apoiar fraquezas ou obscurantismos em suas explanações” (RONAN, 1987, p. 64).

É válido esclarecer que a Ciência grega, assim como expõe Ronan (1987), não é totalmente isenta de crenças e de vínculos às divindades. Por conta disso, é preciso um olhar correspondente à época, notando que a Ciência faz parte de uma transição que, inicialmente, buscava explicações por meio da mitologia e, posteriormente, passou a buscar explicações racionais. Mesmo nessa busca pela racionalidade explicativa dos fenômenos, por exemplo, na tentativa de interpretar qual seria a matéria ou substância primordial que antecede e gera todas as outras coisas do universo, essas interpretações são, muitas vezes, carregadas com princípios deificados.

De acordo com Ronan (1987), a cultura grega é um produto de dois povos anteriores que se concentraram na região do mar Egeu, entre a Turquia e a Grécia (Figura 1), os chamados micênicos e minoanos. O último é declarado como um povo que era constituído por bons observadores da natureza porque representavam com fidelidade as plantas e os animais por meio de pinturas feitas nas paredes e em cerâmicas.

Ainda de acordo com Ronan (1987), Cíclades e Creta, regiões contidas no Egeu, foram invadidas por povos da Turquia ocidental, entre os anos de 2300 e 2000 A. E. C., enquanto a Grécia continental foi invadida pelos povos originários da Rússia. Por sua vez, Creta, a potência marítima do Mediterrâneo, quase não sofreu com os povos invasores, embora tenha sofrido com

a segunda erupção provocada na ilha de Tera. Pouco depois das Cíclades terem sido destruídas e ateadas, entre 1400 e 1150 A. E. C., Creta foi atingida por uma onda, destruindo o Palácio de Cnosso. Dessa forma, com os principais locais de potência destruídos, houve a necessidade de um deslocamento do poder, transferindo-o para Micenas. Por fim, toda a civilização egeia desabou devido às invasões dos povos ditos bárbaros pouco antes do século XII.

Figura 1 - Mapa atual e representativo da região Egeu.



Fonte: < <https://www.loc.gov/resource/g6802a.ct002557/>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

Após os ataques, os dórios adentraram a península do Peloponeso. Como consequência disso, foi agregada à cultura novas maneiras de pensar. Ronan (1987, p. 66) chamou essa combinação das culturas de “protogeométrica”, sendo exaltadas as aptidões acerca da forma e da proporção contidas nas artes, como a cerâmica. Nas palavras do autor, essa readaptação “[...] é evidência de uma perspectiva que iria ter, em breve, os efeitos mais importantes na ciência e filosofia gregas”.

Ainda de acordo com Ronan (1987), há um início do desenvolvimento dessa nova cultura que pode ser observada pelas obras intituladas *Iliada* e *Odisseia*, de Homero, e *Teogonia*, de Hesíodo, datadas entre os séculos X e IX A. E. C. Tais obras mostram deuses antropomórficos, ou seja, com características próximas com as dos mortais, favorecendo a compreensão dos deuses pelos homens. Essa forma de apresentá-los, entretanto, “[...] deixa o universo – em cujo desenvolvimento os deuses podem intervir – suspenso a comportamentos passionais e a arbítrios capazes de alterar seu curso normal” (SOUZA, 1996, p. 10), como o nascimento do cosmos a partir de interações humanizadas entre os deuses, contada na obra mitológica *Teogonia*.

A mitologia é, de certa forma, uma maneira de explicar os fenômenos naturais, a origem do universo e discutir o senso de moral e justiça por meio das divindades. Assim, a crítica de Xenófanes de Cólofon (576-480), consegue demonstrar uma das razões pela qual essa cultura mitológica e antropomórfica começaria a ser enfraquecida no século 6 A. E. C.:

Os mortais consideram que os deuses tiveram nascimento e que possuem roupas, vozes e corpos como os seus. Os etíopes dizem que seus deuses possuem narizes achatados e que são negros; os trácios, que os seus possuem olhos azuis e cabelos ruivos. Se os bois, cavalos e leões tivessem mãos e pudessem pintar e produzir as obras que os homens realizam, os cavalos pintariam figuras de deuses semelhantes a cavalos, os bois semelhantes a bois, e lhes atribuiriam os corpos que eles próprios têm. [...] Homero e Hesíodo atribuíram aos deuses tudo quanto constitui vergonha e desgraça entre os homens: roubo, adultério, embuste e outros atos ilegais. [...] Há um deus acima de todos os deuses e homens. Nem sua forma nem seu pensamento se assemelham ao dos mortais. Vive sempre no mesmo lugar, imóvel... e sem esforço move todas as coisas pela força de sua mente... (KOESTLER; DENIS, 1961, p. 6).

O enfraquecimento da mitologia, em contraste com a procura de respostas sobre o universo por meio da razão, tem início na parte Leste do Egeu. Mais especificamente, isso ocorreu à época que Tales de Mileto (624-547 A.E.C.) passou a refletir sobre a origem universo, ou, ainda, sobre a existência de algo que fosse primordial para vida e todas as coisas do universo, por exemplo: Tales considerou a água como elemento fundamental (RONAN, 1987). A título de curiosidade, Nietzsche (2008, p. 31) fornece uma definição mais precisa do elemento de Tales como sendo o *elemento úmido*. Assim, a “[...] água seria a *physis* [...] a aceção de ‘fonte originária’ quanto ao processo de surgimento e de desenvolvimento [...]” (SOUZA, 1996, p. 19). Nesse sentido, Tales foi:

[...] levado sem dúvida a esta concepção [da água como elemento primordial] por ver que o alimento de todas as coisas é úmido, e que o próprio quente dele procede e dele vive (ora, aquilo de que as coisas vêm é, para todos, o seu

princípio). Por tal observar adotou esta concepção, e pelo fato de as sementes de todas as coisas terem a natureza úmida; e a água é o princípio da natureza para as coisas úmidas (SOUZA, 1996, p. 52).

Dessa forma, o filósofo pode ter sido “[...] o primeiro a demonstrar as qualidades que deveriam caracterizar a Ciência grega: fornecer explicações naturais, não sobrenaturais, sobre o mundo, e tentar deduzir as teorias subjacentes dos fatos da observação e da experiência” (RONAN, 1987, p. 70).

Nietzsche (2008, p. 31) vai além de Ronan ao admitir três razões de importância crucial para termos nas ideias de Tales: a primeira é pela preocupação do filósofo grego em questionar-se sobre a origem das coisas; a segunda e, indo ao encontro de Ronan, por fazer isso – questionamento da origem das coisas – “[...] sem imagem e sem fabulação”; já a terceira, vem da máxima *tudo é um* e, por assim dizer, é a razão de ser considerado por Nietzsche como o primeiro filósofo grego.

Por sua vez, Anaximandro de Mileto (610-546 a.C.), sucessor da chefia da escola de Mileto (SOUZA, 1996), além da crença da pluralidade dos mundos, propôs uma outra substância fundamental à todas as coisas. Essa substância é o “[...] infinito, o indeterminado, o *apeiron* grego, substância eterna sem correspondente preciso entre as substâncias conhecidas” (RONAN, 1987, p. 71). Apesar de parecer uma manobra inteligente de iludir a racionalização, por se tratar de uma substância não concreta e impossível de ser percebida pelos sentidos naturais, Anaximandro elaborou uma justificativa que buscava a relação entre causa e efeito:

[...] todo devir é uma maneira culpada de se livrar do ser eterno, uma iniquidade que deve ser expiada pela morte. Tudo o que conheceu um devir deve desaparecer de novo, quer se trate da vida humana, quer da água ou do calor e do frio [...]. Nunca, portanto, um ser que possui propriedades definidas e é constituído por elas pode ser origem e princípio das coisas. Para Anaximandro [de Mileto], o verdadeiro ser não pode possuir qualquer qualidade definida, senão teria sido gerado e seria condenado a perecer como todas as outras coisas. Para que o devir não cesse, o ser original só pode ser infinito e indefinido, o qual ele chamou de *apeiron*. [...] O ser original assim denominado está acima do devir e é precisamente por isso que garante a eternidade e o curso ininterrupto do devir.

Além disso, é difícil imaginar como o fogo poderia surgir da água, com propriedades totalmente opostas. Assim, a matéria primordial não poderia apresentar qualquer tipo de propriedade, mas ser algo indefinido, de onde pudessem sair todos os opostos (NIETZSCHE, 2008, p. 38-39).

Anaxímenes de Mileto (585-525 a.C.) levou a concepção do seu antecessor adiante, reutilizando a ideia da substância de natureza infinita. Todavia tal substância deveria ser determinada ao invés de indeterminada, ou seja, algo concreto. Assim, foi adotado o ar infinito (*pneuma apeiron*) como substância fundamental. Para isso, uma argumentação muito parecida

com a de Tales foi utilizada, projetando a essencialidade da substância para o ser continuar sendo, isto é, a substância se faz necessária para a existência da vida. Com o mesmo argumento, Anaxímenes fala sobre alma, a qual define como uma condição de ar infinito: “Como nossa alma, que é ar, nos mantém unidos (*syncrateĩ*), assim um espírito (*pneũma*) e o ar mantém unido (*periekhei*) também o mundo inteiro; espírito e ar significam a mesma coisa” (SOUZA, 1978, p. 69)<sup>2</sup>.

O próximo pensador pré-socrático a ser apresentado que tem um importante papel na História da Ciência é Pitágoras de Samos (570-495 A.E.C.). Segundo Koestler e Denis (1961, p. 7):

A cena do sexto século evoca a imagem de uma orquestra a afinar ansiosamente os instrumentos, *estando cada um dos executantes absorto exclusivamente no seu instrumento, surdo à melodia dos outros*. De súbito, faz-se impressionante silêncio, o maestro entra, dá três batidas com a vareta, e do caos nasce a harmonia. O maestro é Pitágoras de Samos, cuja influência nas ideias, e, com isso, no destino da raça humana, foi provavelmente maior que a de qualquer outro indivíduo anterior a ele ou posterior.

Pitágoras foi um líder religioso que transformou a adoração a Dionísio, deus do vinho, em uma devoção para os números, a matemática (RONAN, 1987). O culto original se dava pelo ato de beber e adquirir a condição de entusiasmo, palavra que é derivada do grego “*Enthousiasmos*, que significa ‘ter o deus dentro’, isto é, a possessão por um deus” (KRAUSZ, 2008, p. 18). Dessa maneira, o pensador acreditava que a Matemática era o meio para a salvação das almas e, assim, criou uma ordem religiosa de seguidores sob devoção aos números.

Para entender um pouco sobre essa devoção aos números, Pitágoras, de acordo com Ronan (1987), conseguiu enxergar padrões matemáticos na música. Por exemplo, ao apertar a corda contra o braço de um violino, no ponto que dista a metade do comprimento da corda, é produzida uma escala de sons agradáveis aos ouvidos, assim como a metade da metade, isto é, uma razão de números inteiros entre: um para um; dois para um; três para dois; quatro para três etc.

Em suma, Pitágoras acreditava que todas as coisas podiam ser descritas por números de modo que associou essa ideia aos céus. Para ele, o movimento dos planetas resultaria em uma música universal devido à diferença de seus tamanhos, ideia que ressurgirá com Johannes Kepler (1571-1630) no século XVII. Além disso, elaborou o famoso teorema de Pitágoras,

---

<sup>2</sup> A citação está presente no texto *C - Crítica Moderna*, de George W. F. Hegel, contido na coleção *Os Pensadores*. No trecho utilizado, Hegel está citando Plutarco, cujas palavras definem o pensamento de Anaxímenes.

provavelmente observado em suas viagens à Babilônia (RONAN, 1987); a prolongação dos lados do pentágono, que conhecemos hoje como segmento áureo; os números irracionais, como a raiz do número dois; e as médias aritmética, geométrica e harmônica.

Dessa maneira, podemos relacionar a influência da Ciência pitagórica com a Ciência Moderna, a qual analisa e descreve a natureza pelo uso da Matemática que, muitas vezes, pelo seu poder significativo, serve tanto para dar credibilidade quanto para uma argumentação de “comprovação” de teorias.

Após a contextualização histórica da formação do pensamento científico na Grécia antiga, ainda se faz importante citar nomes igualmente importantes para a época, como Anaxágoras de Clazômenas (500-428 A. E. C.), Parmênides de Eleia (530-460 A. E. C.), Zenão de Eleia (490-430 A. E. C.), Empédocles de Agrigento (490-430 A.E.C.), Leucipo de Mileto (500-430 A. E. C.), Demócrito de Abdera (460-370 A. E. C.), Epicuro de Samos (341-270 A. E. C.) e Platão de Atenas (427-347 A. E. C.). Acreditamos, contudo, que a visão geral da Grécia apresentada foi uma maneira de evidenciar episódios relevantes que possam ser o suficiente para introduzir nossa personagem grega principal: Aristóteles de Estagira.

### 3.1.2 Aspectos biográficos

De acordo com Neves (2007), o filósofo Aristóteles contribuiu e influenciou o pensamento científico por mais de dois milênios e nasceu em Estagira no ano de 385 A. E. C., cidade que pertencia à região da península Calcídica. Embora a datação de seu nascimento seja duvidosa, na tradução de suas obras, Bini (2014) afirma que entre as datas 385 A. E. C. e 384 A. E. C., e é mais provável que a última seja verdadeira.

Aristóteles, então, é filho da mãe Féstias e do pai Nicômaco. O nome do pai foi dado a um dos filhos do estagirita, o qual recebeu uma homenagem, após sua morte, com a obra *Ética a Nicômaco*. O pai era médico real de Amintas II (-393 A. E. C.), rei da Macedônia, que por sua vez era pai de Filipe II (382-336 A. E. C.) e avô de Alexandre Magno (356-323 A.E.C). A morte do pai aconteceu quando o pensador grego tinha apenas sete anos, ficando aos cuidados de seu tio Proxeno. Com aproximadamente dezessete anos, o jovem estagirita se mudou para Atenas a fim de iniciar seus estudos na academia ateniense de Platão. Aristóteles (Platão) foi aluno de Sócrates (-399 A. E. C) e se tornou mestre de Aristóteles.

De acordo com Bini (2014), Aristóteles permaneceu na academia por quase vinte anos e não se sabe ao certo se a deixou antes ou após a morte de seu mestre Platão. Vale ressaltar que o tradutor Bini aponta que o maior biógrafo de Aristóteles, Diógenes Laércio, afirma que

o pensador grego deixou a academia enquanto Platão ainda vivia, embora uma das hipóteses apontadas por Martins (2015) tenha sido que Aristóteles deixou Atenas por motivos políticos, uma vez que pessoas provenientes da Macedônia começaram a ser malvistas pelos atenienses porque o Rei Filipe II estava expandindo seu território ao conquistar outras cidades gregas. Apesar desse contexto, Martins (2015) salienta que esse pode não ter sido o principal motivo, uma vez que outros filósofos, como Xenócrates, descontentes, também saíram de Atenas após a escolha do sucessor da academia. A posse da academia foi dada ao sobrinho de Platão, Speusippos (408-339 A. E. C.).

Quando Alexandre Magno tinha cerca de treze anos, em 343 ou 342 A. E. C., Aristóteles se mudou para Pela, na Macedônia, para ser seu professor, convocação feita pelo pai de Alexandre, o rei Filipe. A época era repleta de preocupações com grandes confrontos entre as regiões, principalmente contra os povos persas. Por escolhas acerca de estratégias de batalha, a cidade Estagira foi destruída. Com a morte de Filipe em uma tentativa de invadir a Pérsia, Alexandre assumiu o trono com 19 anos.

De acordo com Martins (2015), é possível que Aristóteles tenha mantido um bom relacionamento com seu pupilo durante muitos anos. Assim, a pedidos de seu mestre, Alexandre reconstruiu a cidade de Estagira. Além disso, é possível que tenha fornecido grandes quantidades de dinheiro, como uma espécie de financiamento para realizar suas pesquisas.

O filósofo grego voltou para Atenas em uma época que a academia de Platão era administrada por Xenócrates. Embora fosse seu amigo, Aristóteles decidiu não se juntar à academia de filosofia platônica e escolheu um bosque para montar sua própria escola, o Liceu. Os alunos desse local ficaram conhecidos como os *peripatéticos* (aquele que passeia), porque as aulas no período da manhã eram mais específicas, de ordem mais complexa e ocorriam durante uma caminhada pelo bosque. Em outros horários, as aulas continham temas mais gerais e mais simples voltados para uma maior quantidade de pessoas.

Quanto à vida marital, Aristóteles casou-se a primeira vez aos 37 anos, com Pítias, de 18 anos. A esposa tinha algum laço parental com Hércias. Acredita-se que tal laço corresponde à hipótese de que ela era filha adotiva. Hércias foi aluno e, posteriormente, governante da cidade-estado Atarneu. Após o casamento, de acordo com Martins (2015), o casal viveu em Mytilene, na ilha de Lesbos, onde o filósofo grego produziu a maior parte de seus estudos relacionados aos animais. O estagirita se casou uma segunda vez após a morte de Pítias, fatalidade que ocorreu, provavelmente, durante o parto da pequena Pítias, a filha do casal. Com a jovem Hércpile, teve uma filha e um filho.

Aristóteles abandonou o Liceu por se sentir ameaçado com a morte de Alexandre Magno em 323 A. E. C., momento no qual os macedônios e pessoas vinculadas a Alexandre eram odiadas. Assim, o pensador grego fugiu para Calchis, na ilha de Euboea, onde tinha terras herdadas de sua mãe, Féstias. Nessa época, já se encontrava doente, com problemas digestivos. Acabou falecendo aos 62 anos de idade, em 322 A. E. C.

### 3.1.3 O universo ordenado de Aristóteles

Para entender o mundo aristotélico, é pertinente advertir o leitor a respeito de duas particularidades. A primeira se trata do significado e sentido das palavras empregadas por Aristóteles. Como este personagem da história está acerca de dois mil anos distante de nós, convém salientar que as palavras usadas atualmente estão carregadas de significados oriundas de nosso próprio contexto. Da mesma maneira, o pensador grego utiliza a linguagem de sua época. Assim, podemos perceber grafias que foram traduzidas iguais às nossas, porém carregadas de significados que não correspondem ao nosso contexto atual, ou melhor, ao novo paradigma. A título de exemplo: movimento, mudança, céu, corpo, ser, existir, espaço e gravidade (grave).

A segunda, de acordo com as considerações do tradutor Edson Bini, trata-se de haver lacunas de informações, uma vez que os “[...] textos são majoritariamente transcrições de aulas (e não propriamente textos originalmente redigidos para publicação)” (BINI, 2014, p. 11). Assim, o presente trabalho pretende sistematizar as obras na medida do possível, a fim de facilitar a leitura e compreensão.

Neste capítulo especificamente, discorreremos acerca de como é estruturado o universo aristotélico e, principalmente, como se dá o movimento da natureza. E com a finalidade de compreender a natureza, não se pode esquecer o movimento. Afinal, para Aristóteles, *ignoratio motu ignoratur natura*, isto é, “Quem não conhece o movimento não conhece a natureza” (ÉVORA, 2005, p. 133).

Partimos, então, da estrutura geométrica distribuída e ordenada pelo universo. Distribuição que dá forma a ele. Em seguida, passamos a discutir sobre a composição dos corpos e dos elementos fundamentais que são primários em relação à composição dos corpos. Por fim, abordamos o assunto que, muitas vezes, Aristóteles utilizou como argumentação e justificativa para sua concepção do mundo, que é o nosso foco principal de estudo: o movimento natural e violento.

A primeira discussão diz respeito a uma temática, acerca da esfericidade da Terra, muito presente na atualidade, havendo, inclusive, documentário em provedora global de filmes e séries de televisão, além de muitas páginas na mídia social que defendem formatos não esféricos para a Terra e discutem explicações fundamentadas no senso comum. Acreditando que o assunto pode ser invocado por algum aluno em sala de aula, permitimo-nos discutir sobre essa particularidade um pouco mais a fundo, em uma tentativa de fornecer subsídios de argumentação para possível discussão.

No século IV A. E. C., Aristóteles de Estagira já acreditava no formato esférico da Terra, mesmo que seu sistema de mundo fosse com ela posicionada “[...] necessariamente no centro [do universo] e imóvel” (ARISTÓTELES, 2014, p. 142). Quanto à argumentação em defesa da posição e do repouso da Terra, esta será exposta mais adiante, quando forem apresentadas as concepções sobre o movimento natural dos corpos, uma vez que é por meio delas que se sustenta a parte argumentativa. Por enquanto, discutimos somente a esfericidade da Terra.

Conforme Aristóteles (2014, p. 143), a Terra, “[...] possui necessariamente forma esférica” (p. 143). Há três principais argumentos usados para justificar a esfericidade da Terra, sem usufruir de suas concepções de movimento natural dos corpos. O primeiro aponta que a sombra da Terra na Lua, produzida por um eclipse, possui curvatura, indicando, dessa maneira, que ela é realmente esférica.

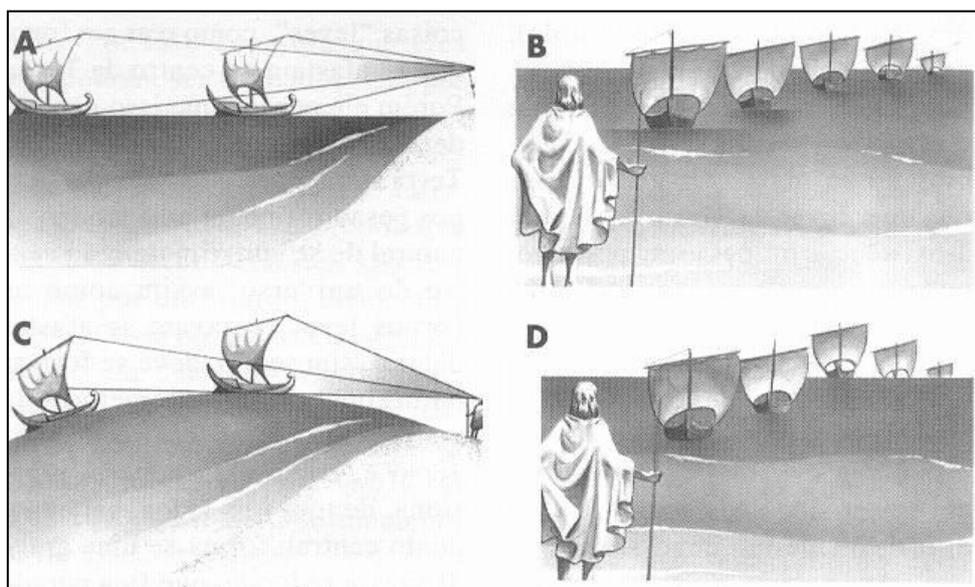
O segundo argumento é um relato: viajando para o Sul, na África, as estrelas visíveis em de uma região deixam de serem vistas em outra, ou aparecem em uma posição diferente, indicando que o formato da Terra é esférico, pois se ela fosse plana veríamos as estrelas igualmente em qualquer local:

Se não fosse assim [formato esférico], os eclipses da lua não mostrariam segmentos como os vemos. Por ocasião de suas fases mensais, assume todas as modalidades de secções (é seccionada pela reta, a curva e côncava); entretanto, durante os eclipses seu contorno é sempre uma linha curva. Daí, sendo a causa dos eclipses a interposição da Terra, é de se presumir que sua forma seja devida à forma da superfície terrestre, que é esférica. A imagem que os astros nos oferecem evidencia igualmente não só que [a Terra] é esférica, como também que é de modesta grandeza, uma vez que basta realizarmos um ligeiro deslocamento para o sul ou para o norte para percebermos visivelmente a alteração da linha do horizonte, de modo que os astros acima de nossas cabeças mudam consideravelmente suas posições, impossibilitando ver os mesmos à medida que nos movemos para o norte ou para o sul. Certas estrelas que são visíveis no Egito e nas cercanias de Chipre são invisíveis em regiões do norte, enquanto astros que aparecem constantemente nas regiões do norte têm seu poente contemplado nas outras. Isso não se limita a revelar a forma esférica da Terra, mas também que não é uma esfera de grande porte; caso contrário, um ligeiro deslocamento da

posição não poderia produzir um efeito tão rápido (ARISTÓTELES, 2014, p. 146-147).

De acordo com Martins (2012b), há um outro argumento utilizado por Aristóteles, em relação à esfericidade da Terra que também é passível de experimentação, sobretudo atualmente, com aparelhos que possibilitam a observação a longas distâncias. Esse argumento consiste, então, na observação de um navio cruzando o Oceano em direção ao horizonte. Caso a Terra fosse plana, ao se afastar da margem, toda a estrutura do navio poderia ser observada mesmo a infinitas distâncias (ver A e B da Figura 2) caso o alcance da visão fosse ilimitado, o que não aconteceria se a Terra fosse esférica. Ao contrário, quanto mais distante estivesse, mais difícil seria visualizar o navio por completo, pois a água começaria a cobrir a visão a partir do casco do navio até o mastro (ver C e D da Figura 2), o qual desapareceria por fim.

Figura 2 - Ilustração da argumentação à esfericidade da Terra feita por Aristóteles.



Fonte: Martins (2012b, p. 90).

É interessante expor que na obra *Do Céu (De Caelo)*, especificamente no capítulo 13 do livro II<sup>3</sup>, Aristóteles critica fortemente os argumentos dos antigos – os filósofos pré-socráticos – quanto às qualidades da Terra, principalmente em relação à postura dos estudiosos como pesquisadores. Sobre a elaboração da *antiTerra* pelos itálicos (pitagóricos), Aristóteles diz:

Essa é sua postura [dos pitagóricos], sem procurarem para os fenômenos explicações e causas, mas, pelo contrário, tentando forçar os fenômenos a se ajustarem a certas teorias e opiniões pitagóricas. São muitos, também, outros

<sup>3</sup> A obra *Do Céu* é constituída por quatro partes principais que, na prática, funcionam como capítulos, porém são denominados de *Livros*, de I à IV.

que consideram inadmissível colocar a Terra no centro; são pessoas que pretendem fundar suas convicções não nos fenômenos, mas em teorias (ARISTÓTELES, 2014, p. 131-132).

As críticas continuaram não somente aos pitagóricos, mas a outros pensadores, tais como: Xenófanes, Tales, Anaxímenes, Anaxágoras, Demócrito, Empédocles, Anaximandro e, inclusive, seu mestre Aristócles de Atenas (Platão).

Até o momento, descrevemos a forma, a posição e o repouso da Terra. Sendo assim, falta nos referirmos ao *uranos*<sup>4</sup> (*οὐρανοῦς*), à forma do universo. De acordo com Aristóteles, “[...] o Céu necessariamente possui a forma esférica” (ARISTÓTELES, 2014, p. 109), portanto, possui forma geométrica e limites, levando a um universo finito que se contrapõe à teoria que aceitamos na atualidade, predizendo uma infinitude do universo detentora de borda. Na teoria aceita, há uma expansão do universo e um limite existente entre o espaço que se expande e “aquilo onde” é expandido, ou seja, seria um universo que cresce infinitamente.

Cabe frisarmos, assim como as notas de tradução de Bini, que o termo *uranos* “[...] não é possível de traduzir de modo plenamente satisfatório por um único vocábulo em português” (ARISTÓTELES, 2014, p. 78). O próprio Aristóteles define o que se entende pela palavra em três sentidos diferentes:

Em um dos sentidos, chamamos de Céu a substância da circunferência extrema do universo, ou, o corpo natural que está na extrema circunferência. Reconhecemos, de fato, que o nome ‘Céu’ contém um sentido especial para a região mais extrema, na qual concebemos a morada dos deuses e de tudo que é divino. Em outro sentido, usamos esse nome para o corpo contínuo com a extrema circunferência que contém a Lua, o Sol e algumas das estrelas; para isso dizemos que os corpos estão contidos no ‘Céu’. Ainda, em outro sentido damos o nome de todos os corpos incluindo a circunferência extrema, uma vez que usualmente chamamos o todo, ou o universo de ‘Os Céus’ (ARISTÓTELES, 1952a, p. 369-370, [tradução nossa])<sup>5</sup>.

Assim, a primeira particularidade é que Aristóteles denomina como *uranos*, a região mais extrema localizada logo após os limites da última esfera material do universo (esfera das

---

<sup>4</sup> A versão inglesa mantém o termo Céu (Heaven).

<sup>5</sup> Original em Anexo I, n. 1. Na versão em português brasileiro consta: “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 estão a lua, o sol e certos astros, dos quais dizemos de fato, 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 todo e ao universo” (ARISTÓTELES, 2014, p.78). Dessa maneira, preferimos a versão inglesa, uma vez que a portuguesa pode provocar dúvida, uma vez que a palavra é capaz de dar o sentido de corpo que dá continuidade *além* dos limites do universo. Isso seria uma espécie de contradição, pois, para Aristóteles, os corpos celestes estão abaixo da última esfera.

estrelas fixas), ou seja, o primeiro motor imóvel. A segunda é chamada de universo como um todo de uranos. Por fim, a terceira é a nomeação de uma área específica chamada de região supralunar, na qual estão situados os corpos celestes, de tal modo que o universo aristotélico é dividido em duas principais partes que se diferem em constituição e movimentação, a região abaixo da esfera da Lua e a região acima da esfera da Lua, a saber: a região sublunar e supralunar, respectivamente.

Adotaremos, então, nomeações diferentes para cada uma dessas significações dadas. Chamaremos a esfera material de primeiro motor imóvel, morada dos deuses ou o próprio deus. Para o todo, usaremos a palavra universo ou mundo. Para a terceira, adotaremos a palavra Céu, Céus ou região supralunar.

Para Aristóteles (2014, p. 109), a esfericidade do último corpo do universo é necessária porque essa forma entre os corpos tridimensionais é “[...] primária na natureza” no sentido análogo à simplicidade da circunferência, que considera o círculo como sendo a “figura plana primária”. Assim, o filósofo associa o termo “primário” ao “simples”, isto é, aquilo que é mais simples é necessariamente primário àquilo que é menos simples, além de considerar que “[...] a esfera é o sólido primário, porquanto exclusivamente ela é circunscrita por uma única superfície, ao passo que os sólidos retilíneos o são por várias” (p. 109).

Não só o limite do universo tem formato esférico, mas toda a estrutura que está ligada com esse limite tem configuração esférica. Segundo Aristóteles (2014, p. 110), não tem sentido um corpo ligado ao outro com formatos diferentes, é como se imaginássemos uma pirâmide dentro de uma esfera, portanto: “[...] uma vez que o que é contíguo ao esférico é esférico”. Da mesma maneira, os astros também são concebidos como esféricos:

[...] a forma de cada astro é esférica. [...] como é para um é igualmente para todos, e o testemunho de nossa visão demonstra que a lua é esférica. Se não o fosse, não apresentaria a configuração de crescente ou quase cheia durante a maior parte do processo em que cresce e mingua e se limitaria a um único momento como meia lua. [...] A esfericidade de um dos [astros] claramente determina aquela dos demais (ARISTÓTELES, 2014, p. 125).

Então, o universo aristotélico pode ser concebido como uma continuidade de corpos esféricos concêntricos que possui uma última esfera material como limite, sendo que “fora da circunferência<sup>6</sup> mais extrema não existe nem vazio nem lugar” (ARISTÓTELES, 2014, p. 110)

---

<sup>6</sup> Acreditamos que a palavra “circunferência” se refere à esfera, pois o mundo é tridimensional e a circunferência remete-se às figuras planas. Além disso, defendemos que o termo é direcionado ao primeiro motor, que seria a última esfera do universo aristotélico, porém essa esfera é uma abstração imaterial e incorpórea. Podemos também interpretar o trecho como sendo a esfera das estrelas fixas, caso consideremos que não há nada *material* além da última esfera. Em suma, as duas interpretações do trecho resultam em um mesmo mundo.

e nem mesmo o tempo, afinal “o tempo é o número do movimento” (p. 79). E se não há corpos que se movimentam, o tempo inexistente. Além disso, para Aristóteles, o “[...] vazio, na sua definição prosaica, é aquilo que, embora sem a presença do corpo, pode vir a contê-lo” (p. 79) e, por isso, também inexistente.

Quanto à idealização da esfera ser a forma mais perfeita e, conseqüentemente, a mais propícia ao universo, acreditamos que essa concepção no mundo de Aristóteles pode ser consequência da influência e obsessão de seu mestre Platão para com as formas perfeitas dos sólidos, dos planos e do ato de implantar o que conhecemos como dogma da circularidade, apresentado na obra *Timeu-Crítias*. Essa preocupação platônica pela forma esférica é fortemente associada a Demiurgo, o deus esférico e platônico que criou o universo com o desejo de “[...] que tudo fosse mais semelhante a si possível” (PLATÃO, 2011, p. 97). Sobre a influência platônica a seu discípulo, Évora (2005, p. 133-134) afirma:

O cosmo ou Universo aristotélico tem muitas características comuns àquele de Platão, o qual embora não desenvolvido detalhadamente e apresentado de uma forma não sistemática, influenciou em grande medida o desenvolvimento posterior da cosmologia. Em ambos os sistemas cosmológicos, o Universo é auto-continente, auto-suficiente e se estrutura no sistema das duas esferas. Segundo Platão, Deus ‘fez o mundo na forma de um globo, uma esfera, tendo seus extremos em todas as direções equidistantes do centro, a mais perfeita e mais semelhante a si mesma de todas as figuras, pois ele considerou que o semelhante é infinitamente mais belo que o dessemelhante’<sup>7</sup> (Timeu 33). Fora do mundo, segundo Platão, não havia nada e sua superfície foi, por Deus arredondada e polida. No centro dessa esfera repousaria a Terra, que também é esférica, a qual permaneceria lá imóvel, para não alterar o equilíbrio simétrico do Universo, sem necessidade de ar ou de qualquer outra força similar para sustenta-la, já que para Platão ‘[...] uma coisa em equilíbrio no meio de qualquer substância uniforme não teria causa para inclinar-se mais ou menos para qualquer direção’<sup>8</sup>. A esfera do Universo, segundo Platão, gira uniformemente de leste para oeste, no mesmo lugar, em torno do seu próprio eixo, que passa pelo centro da Terra. Contudo, há uma obscura passagem no Timeu, onde Platão diz: ‘[...] a Terra, nossa governanta, gira ao redor de um eixo estendido de pólo a pólo através do Universo’<sup>9</sup>, esta afirmação, inconsistente com todo o sistema descrito nesta obra, levou alguns comentadores antigos e medievais a atribuírem a Platão a ideia de que a Terra gira em torno do próprio eixo fazendo o dia e a noite.

Quanto à configuração do universo de Aristóteles, resta discutirmos acerca da esfera das estrelas fixas, o primeiro motor imóvel e a existência ou possibilidade de existir mais de um mundo. Em relação a essa pluralidade dos mundos, o pensador grego afirma que “não apenas o

---

<sup>7</sup> Citado por Évora: (Timeu 33).

<sup>8</sup> Citado por Évora: (Phaedo, 109<sup>a</sup>).

<sup>9</sup> Citado por Évora: (Timeu 40b).

mundo é uno [um], como também o vir a ser mais de um é impossível” (ARISTÓTELES, 2014, p.75). Uma das razões, é simplesmente “[...] porque este contém toda a matéria [do universo]” (ARISTÓTELES, 2014, p. 77).

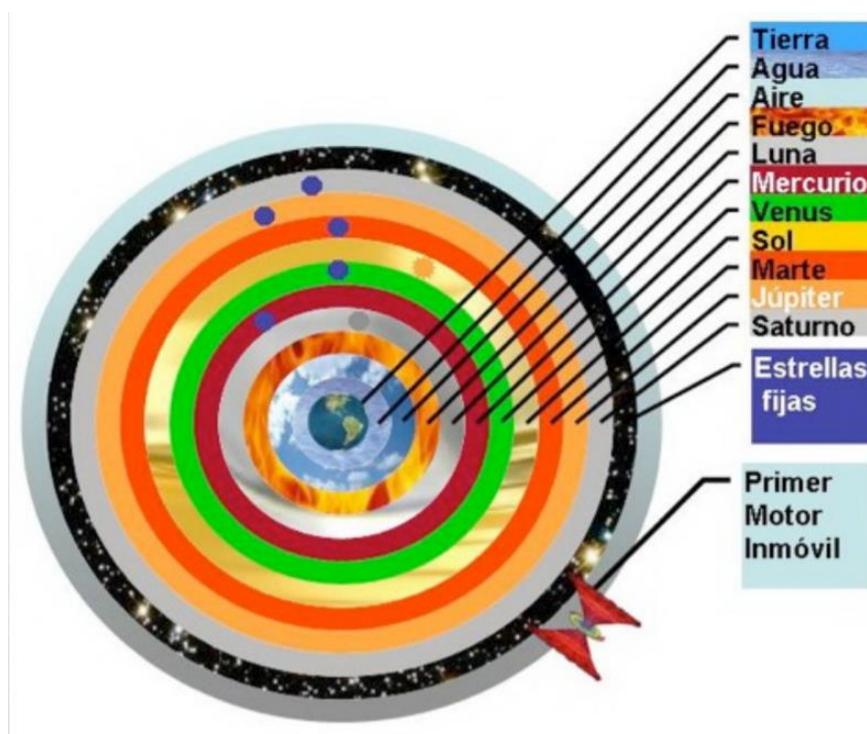
A esfera das estrelas fixas, chamada por Aristóteles de primeiro céu ou de circunferência mais extrema, é o corpo material mais afastado do centro do universo, pois “[...] ocorre que a figura primária pertence ao corpo primário, e este é aquele situado na circunferência mais extrema” (ARISTÓTELES, 2014, p. 110), na qual as estrelas estão fixadas e são levadas de leste a oeste, provocando sua rotação ao redor da Terra que está imóvel e no centro do universo.

Acerca do primeiro motor imóvel, por enquanto, basta dizer que possui essência imaterial, está além da esfera das estrelas fixas e possui a função de fornecer movimento para a circunferência extrema. Abordaremos isso com mais detalhes ao adentrarmos no assunto movimento.

Até aqui, vimos que o mundo aristotélico é dividido em duas regiões principais, a região sublunar e a região supralunar. A partir da esfera da Lua, no sentido de afastamento do centro do universo, estão as esferas cristalinas que contêm os planetas. A última esfera de essência material, chamada de primeiro céu, contém as estrelas fixas que são movidas por uma espécie de motor incorpóreo denominado como primeiro motor imóvel, situado além do primeiro Céu. Todavia, abaixo da esfera da Lua, foi visto apenas que a Terra também é esférica e se encontra parada no centro do universo.

Acerca da organização do mundo sublunar, Aristóteles (2014) afirma, indiretamente durante grande parte do livro *Do Céu*, que existem quatro esferas formadas concentricamente, que são lugares naturais que contêm os corpos que lhe são próprios. As esferas consistem na seguinte ordem e composição: esfera da terra, da água, do ar e do fogo. A esfera da terra pertence aos corpos simples, ou compostos em maior proporção pelo elemento terra, e assim sucessivamente para as demais regiões. A configuração e ordenação do universo de Aristóteles pode ser observada na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Representação da ordenação do universo aristotélico<sup>10</sup>.



Fonte: Bettanin (2011, p. 12).

### 3.1.4 O movimento natural da região sublunar

Abaixo da esfera da Lua, na obra *Do Céu*, Aristóteles (2014) trata do comportamento e da característica dos corpos ditos inanimados. Exclui, portanto, seres vivos, como plantas, animais e seres humanos por serem dotados de alma, distanciando do foco de investigação acerca da filosofia da natureza (Física).

Como consequência da necessidade de entender o movimento para compreender a natureza, o pensador grego postula que “[...] todos os corpos naturais e grandezas são capazes de movimento próprio no espaço. De fato, consideramos a natureza como princípio de movimento” (ARISTÓTELES, 2014, p. 45). Quanto à grandeza citada, Aristóteles refere-se ao tipo de movimento e comportamento:

[...] Ora, todo movimento no espaço, que chamamos de locomoção, é ou retilíneo, ou circular, ou uma associação de ambos. [Esses] são os únicos movimentos simples, a razão disso serem essas as únicas grandezas simples.

<sup>10</sup> Tradução direta da legenda, começando de cima: Terra; Água; Ar; Fogo; Lua; Mercúrio; Vênus; Sol; Marte; Júpiter; Saturno; Estrelas fixas; Primeiro motor imóvel.

O movimento circular é aquele em torno do centro, o movimento retilíneo o ascendente e o descendente (ARISTÓTELES, 2014, p. 45).

Quanto ao que se entende por corpo, Aristóteles parte de uma reflexão dos antigos, como os pitagóricos, dá qualidade de completo e perfeito ao número três, associando isso para fornecer tal qualidade aos corpos tridimensionais. Acredita que “[...] o que é completo não possui falta, uma vez que sua extensão é em todas as direções” (ARISTÓTELES, 2014, p. 44). Essa concepção se mostra verdadeira na natureza, de acordo com a argumentação aristotélica, pois “[...] não há uma transição a um [quarto] gênero adicional de grandeza, tal como há a transição da extensão para a superfície” (ARISTÓTELES, 2014, p. 44). Ainda sobre os corpos, afirma:

[...] o corpo é a única grandeza completa, uma vez que exclusivamente ele é determinado tridimensionalmente, isto é, o corpo é um todo. Sendo divisível em três direções (dimensões), é divisível em todas, ao passo que as outras grandezas são divisíveis em uma ou duas, porquanto a divisibilidade e a continuidade das grandezas estão subordinadas ao número das direções (dimensões). [...] Corpos [tridimensionais] tidos como partes do todo são, por força de nosso argumento, individualmente completos, isto é, cada um deles possui todas as dimensões (ARISTÓTELES, 2014, p. 44).

Com base nos postulados de Aristóteles, podemos realizar a classificação dos corpos em que “[...] alguns são simples, enquanto alguns são compostos dos simples (entendo por corpo simples todos os que contêm um princípio motriz natural” (ARISTÓTELES, 2014, p. 45). Isto é, para o corpo presente abaixo da esfera da Lua, chamamos de simples a constituição proveniente de um dos quatro elementos, ou uma combinação de dois ou mais para o corpo que chamamos de composto.

Independentemente do ponto de vista da geração (vir a ser) ou da eternidade da existência desses elementos, Aristóteles percorre caminhos diferentes dos pensadores antigos ao propor quatro elementos ao invés de um, os quais são formadores de todos os outros e, portanto, fundamentais na existência dos corpos da região sublunar. Como já visto, a água foi concebida como elemento fundamental para Tales; o *apeiron* (indeterminado) para Anaximandro, o elemento *pneuma apeiron* (ar indeterminado) para Anaxímenes e o fogo para Heráclito de Éfeso. Aristóteles, contudo, concebeu como elementos a terra, a água, o ar e o fogo. Em *Do Céu*, a definição de elemento é estabelecida da seguinte maneira:

Que definamos, portanto, o elemento como o corpo em que os outros corpos são suscetíveis de ser decompostos, e que neles se faz presente em potência ou ato [...] não sendo ele [elemento] suscetível de ser decomposto em constituintes que dele se distinguem do ponto de vista da espécie [...] tais

corpos necessariamente existem. Não há dúvida que a carne, a madeira e similares contêm fogo e terra em potência. É evidente que os primeiros se originam dos segundos por dissociação. Contudo, quer em potência, quer em ato, não há presença de carne ou madeira no fogo, pois sua dissociação seria possível se houvesse (ARISTÓTELES, 2014, p. 164).

Estabelecida as concepções de elemento e corpo, é possível apresentar uma das propriedades deste último, que Aristóteles usa para justificar o movimento natural dos corpos e a posição que lhe é natural, de acordo com sua essência elementar de formação, se por terra, água, ar, fogo ou por uma combinação entre tais elementos.

No Capítulo 3 do livro I, na obra de *Do Céu*, Aristóteles (2014, p. 48) afirma que “[...] nem todo corpo possui leveza ou peso”<sup>11</sup>. Ainda que em seguida defina o que se entende por esse assunto a partir de uma espécie de vontade, advinda do próprio corpo em alcançar seu lugar natural (causa pela finalidade), limita-se em apresentar essa concepção em termos relativos, e não absolutos:

Assim, que se entenda por pesado o que naturalmente se move na direção do centro, ou seja, o que é centrípeto, enquanto por leve o que se afasta naturalmente do centro, ou seja, o centrífugo; o mais pesado é o que desce abaixo de todos os demais [corpos] de movimento descendente, e o mais leve o que supera os [corpos] de movimento ascendente. Resulta que todo corpo dotado de movimento descendente ou ascendente apresenta necessariamente leveza ou peso, ou ambos, não sendo possível, porém, que algo seja pesado e leve relativamente à mesma coisa; coisas [como os elementos], entretanto, o são na sua relação recíproca, por exemplo o ar, que é leve se comparado à água, ao passo que esta é leve relativamente à terra (ARISTÓTELES, 2014, p. 49).

Nota-se que o peso ou leveza é dado como uma propriedade presente nos corpos e nada tem de relação com a gravidade ou força gravitacional, como entendemos atualmente. Ainda que essa qualidade deva ser obtida diante de comparação relativa entre um corpo e outro, além de ser fundamentada pela observação do movimento natural desses corpos, seja ascendente para o ar e fogo, seja descendente para a terra e a água.

Já no livro IV, Aristóteles (2014, p. 185) não só expande a definição de peso e leveza em termos relativos, como também apresenta a qualidade absoluta desses termos, deixando de classificar essa qualidade do corpo somente “[...] em função de sua potência para um

---

<sup>11</sup> Aparentemente, Aristóteles não se refere somente aos corpos contidos na região sublunar, mas, também, aos corpos que estão nos Céus, pois os únicos corpos que não possuem peso ou leveza são formados de Éter, elemento fundamental da região supralunar: “Não é possível, contudo, que o corpo dotado de movimento circular apresente peso ou leveza, uma vez que jamais pode produzir movimento centrípeto ou centrífugo, quer naturalmente que não naturalmente” (ARISTÓTELES, 2014, p. 49).

movimento natural”. Assevera, ainda, que quanto maior a quantidade do corpo ou a proximidade com seu lugar próprio, maior o desejo em atingir seu lugar, aumentando, assim, a velocidade a qual se move. Sendo assim, sobre os absolutos pontua:

Começemos, contando com um fato que se revela a todos, por designar como absolutamente pesado [o corpo] que se acomoda abaixo de todos os demais, e como absolutamente leve aquele que vem à superfície, acima de todos os demais. Entendo por absolutamente o que diz respeito ao gênero e aos [corpos] que não admitem ambas as determinações. Por exemplo, é evidente que o fogo, independentemente da quantidade, move-se para cima se não topar com alguma barreira, o mesmo ocorrendo com a terra no seu movimento para baixo; sendo a quantidade maior, o movimento seria o mesmo, porém a velocidade seria superior. Quanto a [corpos] que possuem ambas as determinações, é num outro sentido que são pesados ou leves. Há os que vêm à superfície acima de outros, enquanto há os que se acomodam abaixo de outros, como no caso do ar e da água. Nenhum dos dois é absolutamente leve ou pesado, sendo ambos mais leves que a terra [...] ao passo que são mais pesados que o fogo (ARISTÓTELES, 2014, p. 196-197).

Com essa afirmação, Aristóteles argumenta que se o elemento fogo, por exemplo, possuísse algo de peso, ele necessariamente se acomodaria em alguma região que antecederesse um outro elemento que fosse concebido sem peso. Como sendo o absolutamente leve e pesado algo necessariamente existente para Aristóteles, conclui que “[...] o fogo é destituído de peso, e a terra destituída de leveza” (ARISTÓTELES, 2014, p. 199).

É válido apresentar as críticas que Aristóteles (2014, p. 187) faz sobre as ideias propostas por Platão sobre peso e leveza contidas no *Timeu*: “[...] é entendido que a quantidade maior de partes idênticas determina o que é constituído como mais pesado”, enquanto a menor quantidade está relacionada a corpos mais leves.

Se fosse esse o caso, uma quantidade superior [do elemento fogo] teria uma velocidade ascendente menor, além de mostrar-se mais pesada [...] Ora, o que a observação revela é o contrário: quanto mais copioso ele é, maior sua leveza, além de constatarmos a maior celeridade de sua ascensão [...] De modo invariável, quanto maior for a quantidade de ar, mais se moverá para cima, e de uma maneira geral, qualquer porção de ar move-se para cima partindo da água. Patenteia-se, portanto, a insuficiência da declaração de que com peso igual são constituídos de número igual de partes primárias. Nesse caso, seriam iguais do ponto de vista do volume (ARISTÓTELES, 2014, p. 188).

De acordo com Évora (2005), essa alteração na velocidade também pode ser explicada pela razão do corpo possuir uma espécie de vontade própria, como um desejo incorpóreo de encontrar o seu lugar natural e lá permanecer imóvel porque “[...] todas as coisas cessam de se

mover quando chegam ao seu lugar próprio” (ARISTÓTELES, 1952a, p. 370)<sup>12</sup>. Além disso, para os corpos constituídos de peso, a mudança de velocidade proposta por Aristóteles pode servir, de certa maneira, como razão para a aceleração dos corpos em queda livre.

Assim, a ideia de movimento aparece indiretamente, uma vez que há muita dificuldade em focar na composição dos corpos sem mencionar seu movimento natural. Uma vez fundamentada a concepção de corpo, resta-nos apresentar o movimento natural da região sublunar de forma mais direta e incisiva.

Como já visto, todo movimento acerca da mudança de posição é dado por Aristóteles (2014, p. 45) como retilíneo, circular, ou uma combinação dos dois anteriores, portanto: “[...] todo movimento simples no espaço é necessariamente centrífugo, ou centrípeto, ou em torno do centro”. Como o movimento natural é retilíneo, de afastamento (ascendente) ou aproximação (descendente) em relação ao centro do universo, podemos concluir que se move em trajetória exclusivamente vertical<sup>13</sup>.

O movimento que é exercido naturalmente pelo corpo depende da relação com a propriedade de peso e leveza. Assim, como o fogo naturalmente se move para cima (ascendente) e terra para baixo (descendente), é próprio do corpo que possa se mover naturalmente ou sob ação de algo<sup>14</sup>. Sendo assim, “[...] todo movimento é ou natural ou não natural” (ARISTÓTELES, 2014, p. 47). Com isso, afirma ainda 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, 2014, p. 47).

Na obra *Do Céu*, Aristóteles (2014) deixa claro que o movimento natural é acerca da locomoção dos corpos da região sublunar e supralunar, como visto anteriormente. O que queremos dizer é que o termo “movimento” é mais amplo do que na concepção newtoniana, uma vez que a locomoção é apenas uma entre outras categorias de movimento classificadas por Aristóteles, isso pode ser observado de modo mais abrangente nos textos da obra *Física* (*Physics*, 1952b).

---

<sup>12</sup> Tradução nossa. Consta no original: “[...] everything ceases to move when it comes to its proper place”.

<sup>13</sup> Embora o movimento circular em torno do centro também seja natural, o assunto é tratado no subcapítulo seguinte, pois pertence aos corpos contidos acima da esfera da Lua.

<sup>14</sup> É importante ressaltar que o trecho “sobre a ação de algo” não remete ao movimento violento. Nesse contexto, referimo-nos somente ao movimento vertical, potencialmente realizado de alguma forma não natural, como a terra em movimento ascendente.

De acordo com Évora (2005), Aristóteles concebe que o movimento pode ser a alteração em quantidade (aumento ou diminuição de matéria ou volume), em qualidade (quente ou frio) ou lugar (locomoção). Isto é, o movimento não é só uma mudança local dos corpos, mas também uma mudança na qualidade e quantidade dos corpos. Diante disso, nota-se que o movimento é um tipo de “mudança”, sendo possível afirmar que “[...] é sempre com respeito à substância ou à quantidade ou à qualidade ou ao lugar que o que muda, muda” (ARISTÓTELES, 1952b, p. 278)<sup>15</sup>.

Nesse sentido, é por essa razão que Aristóteles (1952b, p. 278) considera a natureza não só como princípio de movimento, é também um princípio de mudança: “A Natureza tem sido definida como o ‘princípio de movimento e mudança’ e, portanto, nosso sujeito de investigação”<sup>16</sup>.

Enquanto a geração (vir a ser) e corrupção (deixar de ser) são mudanças relacionadas às substâncias, a alteração da qualidade, quantidade e lugar estão relacionadas à mudança accidental, ocorrendo de maneira instantânea e gradual, respectivamente. Aristóteles (1952b, p. 305) concebe que “[...] toda mudança ocorre de algo para algo”<sup>17</sup>. Além disso, afirma que pode ocorrer da seguinte maneira:

- De um *ser* para um *ser*, ou seja, quando o sujeito da mudança é um tipo de *movimento*.
- De um *não-ser* para um *ser*, ou seja, quando o sujeito da mudança vem a ser (*geração*).
- De um *ser* para um *não-ser*, ou seja, quando o sujeito da mudança se corrompe e deixa de ser (*corrupção*) (ARISTÓTELES, 1952b, p. 305)<sup>18</sup>.

Diante disso, podemos observar que a única relação que não existe nenhum tipo de mudança é de um não-ser para um não-ser. Aristóteles acredita que, para haver mudança, é necessário que exista oposição, ou seja, no caso do primeiro item, que tenha direção ou sentido oposto, como o movimento ascendente e descendente. Para os demais, a contrariedade daquilo que não existe e passa a existir ou daquilo que existe e passa a não existir mais são mudanças substanciais.

---

<sup>15</sup> Tradução nossa. Consta no original: “[...] it is Always with respect to substance or to quantity or to quality or to place that what changes changes”.

<sup>16</sup> “Nature has been defined as a ‘principle of motion and change’, and it is the subject of our inquiry”

<sup>17</sup> Tradução nossa. Consta no original: “[...] every change is *from* something *to* something”.

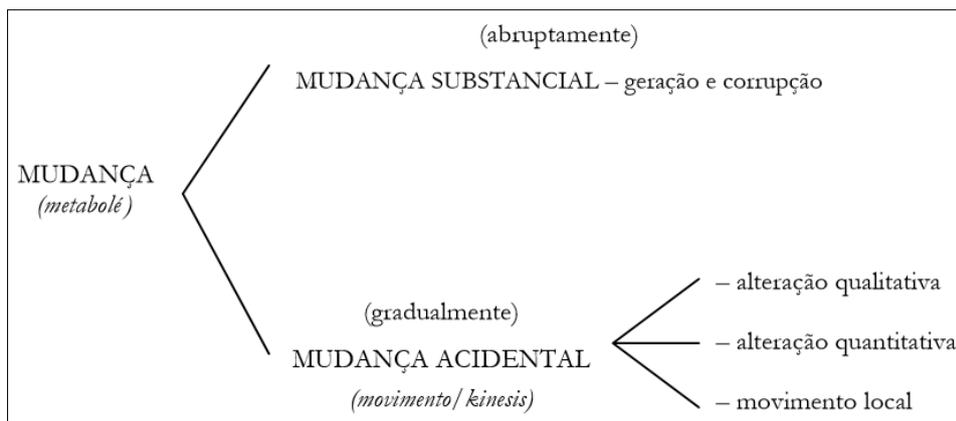
<sup>18</sup> Tradução nossa. Consta no original: “[...] that which changes must change in one of four ways: from subject to subject, from subject to non-subject, from non-subject to subject, or from non-subject to non-subject”.

Portanto, segue-se necessariamente do que tem sido dito sobre haver apenas três tipos de mudança; de um ser para um ser, de um ser para um não-ser, de um não-ser para um ser: o quarto tipo imaginável, de um não-ser para um não-ser, não ocorre mudança porque, nesse caso, não existe oposição de contrários e nem contradição (ARISTÓTELES, 1952b, p. 305)<sup>19</sup>.

De acordo com Évora (2005, p. 130), o movimento é um tipo específico de mudança. Ele precisa necessariamente de uma ação causal que ocorra de maneira direta e contínua, pois o corpo não se encontra no mesmo estado. O movimento é uma passagem gradual, entre estágios de um ser em potência para um ser em ato, sendo válido para o efeito contrário. E se o movimento cessar é para completar sua atualidade.

No artigo da pesquisadora Évora (2005), foi apresentado um quadro de classificação sobre os tipos de mudança, sistematizando de maneira geral a visão do pensador grego. Para auxiliar na tentativa de compreensão dos subsídios sobre o mundo Aristotélico, o quadro pode ser observado a seguir.

Figura 4 – Diagrama representativo relacionado aos tipos de mudança no mundo aristotélico.



Fonte: Évora (2005, p. 133).

### 3.1.5 Os movimentos naturais como argumentação acerca da configuração do mundo aristotélico

Uma vez estabelecida a essência do movimento natural e contranatural, torna-se possível a justificativa do modelo de mundo aristotélico de acordo com sua ordem e formatação, iniciando pela argumentação que defende a impossibilidade da pluralidade do mundo, isto é, a

<sup>19</sup> Tradução nossa. Original em Anexo I, n° 2.

impossibilidade de haver mais de um universo, tanto de maneira pré-existente quanto por meio da geração de novos mundos.

Aristóteles inicia sua argumentação com uma premissa hipotética, a qual consiste, em caso de haver de um ou mais universos, que “[...] *todos os mundos* são necessariamente compostos dos mesmos corpos, sua natureza sendo semelhante à do nosso” (ARISTÓTELES, 2014, p. 70). Ora, se os outros mundos possuem corpos de mesma natureza que os existentes no nosso mundo, é próprio considerar que seu movimento natural também ocorre de maneira idêntica. Com isso, um mesmo elemento – por não se diferenciar quanto à sua essência, mas apenas por estar localizado em um ou outro universo – possui, necessariamente, a mesma potência de movimento.

Vimos que o movimento natural dos corpos graves ocorre de maneira vertical em direção ao centro do universo, já para os corpos leves, há o afastamento vertical a partir desse centro. Se, por exemplo, considerarmos dois universos esféricos<sup>20</sup> paralelos e imaginarmos uma porção de terra sendo solta a uma certa altura em um desses universos, teremos que o movimento dessa porção será natural para um universo e contranatural para o outro. Acontecimento que, para Aristóteles, seria impossível. Em suas palavras, temos:

[...] seriam similares, em natureza, ao nosso. Além disso, cada um dos corpos – fogo, terra e seus intermediários – devia ter o mesmo poder que em nosso mundo [...] Claramente, então, um destes corpos mover-se-á naturalmente para longe do centro e outro para o centro, já que o fogo deve ser idêntico ao fogo, terra a terra, e assim por diante... Então, a partícula de Terra em outro mundo move-se naturalmente também para o nosso centro e o fogo para a nossa circunferência. Isto, contudo, é impossível, já que, se fosse verdade, a Terra devia, em seu próprio mundo, mover-se para cima e o fogo para o centro; do mesmo modo, a Terra do nosso mundo devia mover-se para o centro de outro mundo. Isto resulta a suposta justaposição dos mundos. Pois, ou nós devemos nos negar a admitir a natureza idêntica dos corpos simples em vários mundos, ou admitindo isto, devemos fazer o centro e a extremidade como sugerido, e sendo assim segue que não pode haver mais do que um mundo (ÉVORA, 2005, p. 155)<sup>21</sup>.

Para Aristóteles, mesmo que fosse incoerente pela simples lógica de um corpo se deslocar contrariamente à sua própria natureza em relação a pelo menos um universo, seria possível considerar que, por essa porção de terra estar mais próximo do centro de um dos

---

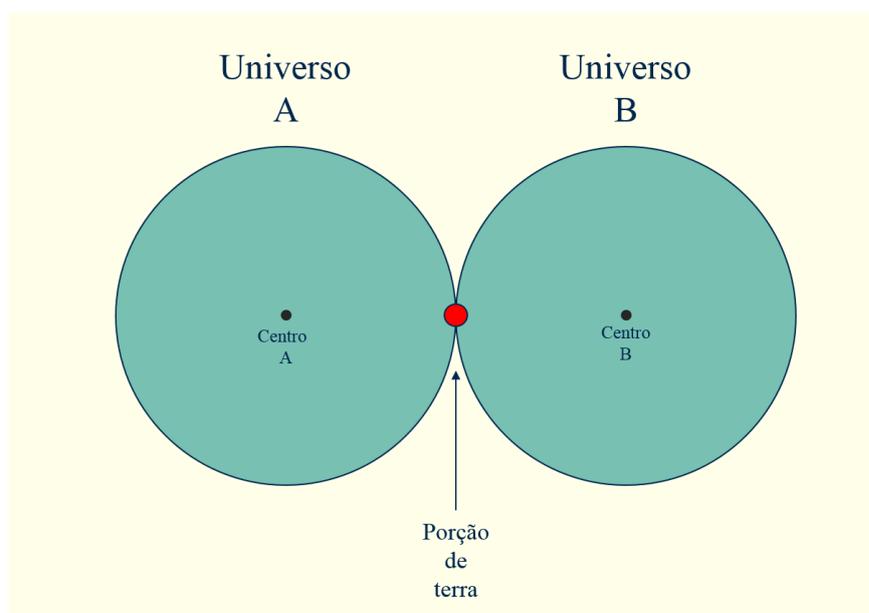
<sup>20</sup> Conforme visto anteriormente, o universo aristotélico possui formato esférico.

<sup>21</sup> A citação é uma tradução da obra original de Aristóteles que foi adotada por Évora, a qual foi escolhida por se tratar de uma versão com caráter mais compreensível. A passagem corresponde a um trecho do capítulo 8, do livro I, da obra *Do Céu* (2014).

universos, seria natural que ela se movimentasse para esse centro de maior proximidade, mesmo que se movesse contrariamente ao outro universo.

Podemos, ainda, ir além e questionar: qual seria o comportamento do corpo que se dispusesse na mesma distância do centro de um universo A e de um outro B? Para qual centro o corpo se moveria? Confira a Figura 5, a seguir.

Figura 5 – Ilustração para elucidar a argumentação contra a pluralidade dos mundos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Não sabemos com exatidão como Aristóteles responderia à essa questão, mas podemos considerar uma possível alternativa como argumentação. Assim, é possível dizer que não há motivo aparente de que a porção de terra “escolha” um centro ao invés de outro para se movimentar. E mesmo que ainda escolha um centro qualquer, é fato que não podemos justificar a escolha do movimento com relação a uma maior proximidade do corpo a algum centro, pois distam do mesmo tanto, o que resulta uma falha na justificativa hipotética sugerida anteriormente. Podemos afirmar, ainda, que a distância não pode ser fator decisivo para o movimento do corpo. Por fim, sem justificativa aparente para tal situação, a argumentação aristotélica que defende a impossibilidade da pluralidade dos mundos se faz coerente.

Partiremos, agora, para a defesa da posição e da imobilidade da Terra. Como visto, as ideias de Aristóteles seguem várias linhas de raciocínio, inclusive a observacional. É, portanto, muito intuitivo para a época pensar na Terra posicionada e imóvel no centro do universo. Afinal, se olharmos para o sol, podemos vê-lo girando ao nosso redor, sendo impossível mostrar,

exclusivamente de uma posição qualquer da superfície da Terra, que ela que gira em relação a um eixo próprio e imaginário.

O centro do universo é o ponto de referência adotado por Aristóteles que permeia sua teoria dos movimentos naturais sublunares. Afinal, o movimento natural dos corpos ocorre sempre em busca do seu lugar natural, seja ela uma aproximação, seja um afastamento do centro do universo – para os corpos graves e leves, respectivamente. Nesse sentido, se considerarmos a geração dos corpos corruptíveis, é natural pensar que a Terra ocupa o centro do universo, uma vez que o elemento mais grave e destituído de leveza (terra) busca ocupar o centro do universo. Coincidência que faz com que o centro da Terra e o centro do universo, embora sejam pontos distintos em sua essência, ocupem a mesma posição.

Diante disso, torna-se coerente pensar na esfericidade do nosso planeta ao considerarmos sua formação pelo movimento natural, uma vez que todos os corpos graves se movimentem, advindos de todos os lados em direção a um único ponto, e a forma geométrica que se forma em função de uma simetria de posição é a esfera.

Portanto, conforme Aristóteles, a Terra está localizada no centro do universo, posição contrária à visão pitagórica que coloca no centro a *guarda de Zeus*, pois ao “[...] ponto mais honroso cabe àquilo que é o mais valioso, que o fogo é mais valioso do que a Terra, [portanto] [...] o que se situa no centro da esfera [do universo] é o fogo” (ARISTÓTELES, 2014, p. 132).

Assim, cabe uma crítica feita pelo filósofo grego aos antigos que acreditavam que a Terra tivesse formato chato, como uma espécie de tambor. Essa suposição é sustentada pela linha reta formada no horizonte pelo sol nascente e poente, visão que retorna como uma crença fervorosa atualmente para sustentar a ideia de uma Terra plana. Acerca disso, Aristóteles (2014, p. 134) menciona:

Estes apresentam com evidência a respaldar o que afirmam o fato de surgir, por ocasião do poente e nascente do sol, uma linha reta e não curva no ponto em que a visão do sol é ocultada pela Terra; daí se permitem concluir que, se a Terra fosse esférica, essa linha secante seria curva. O problema é que omitem em suas considerações a distância que separa o sol da Terra e a grande dimensão de sua circunferência; a parte desta observada, cortando esses círculos aparentemente pequenos, parece reta. Concluímos que essa *ilusão óptica* [imagem fantasiosa] de modo algum pode permitir-lhes duvidarem que a Terra é esférica. Mas seu argumento é revigorado quando afirmam que o repouso da Terra exige necessariamente que possua outra forma, não a esférica.

Deixamos para este ponto deste estudo a reflexão e crítica sobre o embate da esfericidade *versus* o achatamento da Terra, porque é a partir dessa crítica que Aristóteles

começará a defender sua posição quanto à imobilidade do planeta, pensamento importante que mostra o caráter não inercial do movimento proposto por seu modelo. Além disso, o mesmo exemplo será evocado por diferentes perspectivas em Giordano Bruno, grande crítico da física aristotélica, e Galileu Galilei.

Discutindo sobre o respectivo assunto, Aristóteles (1952a, p. 388)<sup>22</sup> apresenta a seguinte ideia: “[...] É claro que a Terra precisa estar necessariamente no centro e imóvel [...] porque corpos graves lançados à força para cima retornam ao mesmo ponto em que partiram, mesmo que sejam lançados a uma distância infinita”. De acordo com o que foi pontuado no trecho, acreditamos que o filósofo quer dizer que, caso existisse o movimento de rotação da Terra, qualquer corpo grave, ou constituído majoritariamente por essa qualidade, deveria cair mais distante do ponto onde fora lançado verticalmente. Sendo assim, enquanto o objeto percorre sua trajetória vertical de subida e depois de descida, a Terra continua girando e, portanto, distanciando o ponto de partida do objeto lançado do próprio objeto, uma vez que esse comportamento não pode ser observado pelos sentidos, sendo constatada a impossibilidade do movimento terrestre em volta de seu eixo imaginário.

Não assumindo como pauta a veracidade ou falseabilidade dessa constatação, é preciso dizer que o raciocínio de Aristóteles é coerentemente estruturado. Veremos que Giordano Bruno evoca e critica o resultado desse pensamento aristotélico argumentando, por exemplo, que o corpo lançado verticalmente ou, mais precisamente, solto do alto do mastro do navio, cai de maneira reta diretamente no pé do mastro, mesmo em movimento horizontal.

Esse trecho de *Do Céu* evidencia que o aspecto inercial do movimento não é concebido pelo mundo aristotélico, embora o próprio Aristóteles enuncie a concepção de conservação do movimento, como veremos a seguir.

### 3.1.6 O movimento violento e a *antiperistasis*

Até aqui tratamos dos movimentos naturais e contranaturais dos corpos, da região terrestre e celeste, contudo leitores mais atentos podem notar que os corpos inanimados, na região sublunar, não realizam somente movimentos verticais. Então, como Aristóteles explica o movimento causado por intervenção de algo externo? Por exemplo, como o movimento de

---

<sup>22</sup> Tradução nossa. No original: “[...] It is clear, then, that the earth must be at the centre and immovable [...] because heavy bodies forcibly thrown quite straight upward return to the point from which they started, even if they are thrown to an infinite distance”. Nesse trecho, escolhemos traduzir da coleção *Great books of western world* porque a versão brasileira apresenta, segundo acreditamos, um erro de digitação no que se refere aos corpos graves como corpos leves.

uma flecha lançada ao ar é explicado? Nesta sessão, procuraremos responder a essa pergunta, pois é no movimento violento que podemos identificar os aspectos inerciais e não inerciais da Física aristotélica.

Para Aristóteles (1952b), todo corpo que se move precisa de algo que o mova, isto é, que exerça a função de agente motor. Para o movimento contranatural, o corpo precisa ser forçado a executar tal movimento, havendo, assim, a necessidade de um agente motor, visto que os corpos só se movem naturalmente a favor de seu lugar natural. Todo movimento que não seja natural precisa de um agente externo como causa do movimento, violentando continuamente o corpo para que se mova.

Assim, é claro que nenhuma destas coisas move-se por si, mas cada uma tem uma fonte de movimento, não de causar movimento, ou de agir, mas de passivamente ser submetida a ela. Se, então, todas as coisas que estão em movimento, ou movem-se de acordo com suas próprias naturezas, ou por violá-las e sob violência; Se todas as coisas, cujo movimento é violento e contrário à natureza, são movidas por algum agente motor externo a elas, diferente delas próprias; se todas as coisas, cujo movimento é natural, são também movidas por algum agente – tanto aquelas que são movidas por si [como os animais], como aquelas que não são movidas por si, como as coisas leves e pesadas, **que são movidas diretamente por aquilo que de algum modo gerou a coisa como tal, e a fez leve ou pesada**, ou incidentalmente por aquele que liberta o que estava impedindo ou prendendo; Se tudo isso é assim, segue que todas as coisas em movimento são movidas por algum agente motor (ARISTÓTELES, 1952, p. 340, grifo nosso)<sup>23</sup>.

Além do movimento, seja ele natural ou violento, o corpo deve possuir uma espécie de motor que o move. Évora (2005) aponta que existe uma ideia de proporcionalidade bastante clara, a qual chamou de *lei fundamental da dinâmica aristotélica*. Ainda que “[...] não tenha sido estabelecida em uma forma concisa através de uma notação matemática (tal como ocorre na física moderna)” (ÉVORA, 2005, p. 157), tal lei, como veremos adiante, implica que a intensidade da força motriz<sup>24</sup>, constantemente aplicada pelo agente motor, é diretamente proporcional à distância e inversamente ao tempo.

Se, então, o motor A move B em uma distância  $\Gamma$  no tempo  $\Delta$ , então no mesmo tempo, a mesma potência A moverá  $\frac{1}{2}B$  em duas vezes a distância  $\Gamma$ , e em  $\frac{1}{2}\Delta$  moverá  $\frac{1}{2}B$  em toda distância  $\Gamma$ ; pois assim a regra da proporção será observada. Novamente, se uma dada potência move um dado corpo a uma certa distância em um certo tempo, e metade desta distância em metade do tempo, então meia potência moverá a metade de tal corpo na mesma distância

<sup>23</sup> Original em Anexo I, n. 3. O trecho encontra-se traduzido em Évora (2005, p. 156-157).

<sup>24</sup> O termo força foi utilizado para dar sentido de que algo fornece o movimento. É válido lembrar que esse termo está carregado de significados e concepções, principalmente fazendo alusão às ideias de Newton, ainda que não o façamos referência às concepções newtonianas neste momento.

e no mesmo tempo. Seja E metade da potência A e Z metade do corpo móvel B. Então a razão entre a potência e o peso em um caso é similar e proporcional à razão no outro, tal que a potência causará o movimento através da mesma distância e no mesmo tempo (ARISTÓTELES, 1952b, p. 333)<sup>25</sup>.

Para uma notação matemática interpretada pelo texto de Aristóteles, temos que:

$$F(\text{potência ou força motora}) = k \frac{\Gamma(\text{distância})}{\Delta(\text{tempo})} \quad (1)$$

Como entendemos que a razão entre a distância pelo tempo possibilita encontrar a velocidade, podemos simplificar a equação anterior em:

$$F = k v \quad (2)$$

Em que a intensidade contínua aplicada pelo agente motor é diretamente proporcional à velocidade do corpo, porém a representação matemática dada pela expressão (2) está incompleta, porque Aristóteles também inclui um componente extra ao movimento, a função do meio no qual o corpo está presente.

Para Aristóteles (1952b, p. 295), o meio executa a função de resistir ao movimento, isto é, quanto maior a densidade do meio, menor será a velocidade do corpo:

Nós vemos que um peso, ou corpo, move-se mais rápido do que outro por uma de duas razões: ou porque há uma diferença no meio através do qual ele se move, como entre a água e o ar, ou porque, sendo as outras coisas iguais, o corpo móvel difere do outro por um excesso de peso ou leveza. [...] Seja B a água e  $\Delta$  o ar. Então, tanto quanto o ar for mais rarefeito e mais incorpóreo do que a água, mais rápido um corpo A se moverá através de  $\Delta$  do que através de B. [...] E sempre, quanto mais o meio for incorpóreo e menos resistente e mais facilmente dividido, mais rápido será o movimento.

Desse modo, a velocidade também é inversamente proporcional à densidade do meio em que se move. Assim, como propõe Franklin (1976), em uma representação matemática moderna das ideias de Aristóteles, podemos escrever como:

$$\frac{F}{R} = k v \quad (3)$$

Em que:

$$F = \text{força motora}$$

---

<sup>25</sup> Original em Anexo I, n. 4. O trecho encontra-se traduzido em Évora (2005, p. 157).

$v = \textit{velocidade}$

$R = \textit{resist\^encia do meio}$

$k = \textit{constante de proporcionalidade}$

Portanto, a ação do agente motor deve ser contínua para que o movimento seja mantido, devido a essas grandezas serem diretamente proporcionais. Isso implica que só pode haver movimento se houver essa ação contínua. Sendo assim, se para um corpo em movimento o agente motor para de agir, o corpo cessa o movimento. Conclui-se, então, que *cessante causa cessat effectus*<sup>26</sup> (ÉVORA, 2005, p. 157). Esse comportamento da física aristotélica é a parte que vai de encontro ao conceito de inércia, ou seja, é o aspecto não inercial da dinâmica aristotélica.

Ainda podemos acrescentar mais uma implicação à dinâmica aristotélica. Pela análise da equação (3), a qual mostra que a densidade do meio é inversamente proporcional à velocidade, podemos questionar: o que aconteceria com o corpo caso essa densidade tendesse à zero? Isto é, caso a matéria contida no meio fosse tão rarefeita que praticamente não oferecesse resistência.

Imaginando um motor agindo sempre com a mesma intensidade, ocasionaria que quanto menor fosse a densidade do meio, maior seria a velocidade do corpo, portanto, isso implicaria que se a densidade tendesse a zero, haveria corpos com velocidades infinitas. Contudo Aristóteles resolveu esse problema ao passo que definiu o vazio como inexistente, concluindo que a natureza possui horror ao vácuo (ÉVORA, 2005).

Com base nas ideias de Aristóteles, é possível perceber que, na sua teoria dinâmica dos corpos, o movimento sofre uma grande influência do meio ao resistir ao movimento de maneira inversamente proporcional. Todavia o meio exerce uma outra função de tal modo que é evidentemente crucial para que o movimento violento exista. Como visto anteriormente, para que exista o movimento, é necessária a presença de um agente motor, enquanto os corpos em movimento natural são movidos passivamente por uma espécie de desejo do corpo em encontrar seu lugar natural. E qual é o agente motor que faz com que o corpo lançado em trajetória não vertical continue seu movimento?

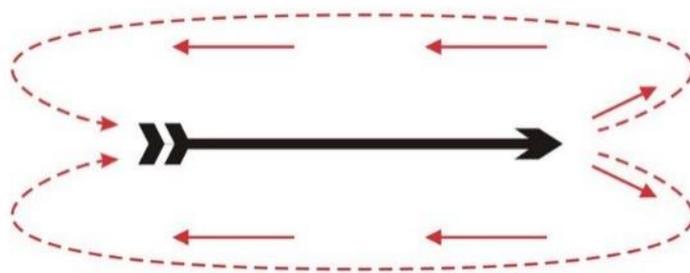
De acordo com as ideias retiradas de Aristóteles (1952b), o agente motor é dado pela explicação de uma ação batizada como *antiperistasis*, uma substituição recíproca. Imaginando uma flecha sendo lançada horizontalmente, essa ação de substituição recíproca ocorre de tal

---

<sup>26</sup> Significa: cessada a causa, cessado o efeito.

forma que o ar empurrado pela ponta da flecha retorna de maneira instantânea para a outra extremidade da flecha (trajetória de acordo com a Figura 6) que, ocupando o lugar que teria sido deixado vago pelo deslocamento da flecha, acaba por empurrá-la na mesma direção e sentido que anteriormente foi lançada, agindo de modo a manter o movimento, o qual possui duração somente enquanto existir a energia<sup>27</sup> usada pelo ar para se deslocar instantaneamente até a base da flecha.

Figura 6 – Representação do movimento violento de acordo com a substituição recíproca.



Fonte: Craig (2017, *on-line*).

Consequentemente, o meio exerce influência no ato de resistir ao movimento ao mesmo tempo que é a causa da continuidade desse movimento, a partir do momento em que o corpo é lançado, contudo a trajetória percorrida pelo ar durante esse processo é curva, o que implica em um movimento diferente do natural e do violento.

Para justificar, Aristóteles (2014, p. 162-163) assevera que a *antiperistasis* só pode ocorrer pelo motivo de que o meio representado pelo ar, ou água, tem a capacidade natural de ser leve ou pesado:

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’.

Fazendo uma relação com a epistemologia de Kuhn (2000), podemos chamar a *antiperistasis* de ponto de ruptura. Ainda segundo o autor, a troca de paradigma se faz pela realização de sucessivas críticas no ponto considerado mais frágil de uma teoria (ruptura), até que ela seja abalada de modo a não conseguir se manter, sendo substituída por um novo

<sup>27</sup> O termo energia empregado na sentença não corresponde ao termo usualmente utilizado na Física. Usamos este termo por ser um conceito abstrato para representar uma espécie de combustível para o deslocamento do ar.

paradigma. É justamente a concepção da *antiperistasis* que será fortemente criticada durante a Idade Média, principalmente por João Filopono (490-570) e Jean Buridan (1300-1358).

Imaginando, inicialmente, a possibilidade de que o vácuo possa existir, Aristóteles (1952b) surge com um fator de relevância proveniente do movimento violento. Então, ao mesmo tempo que descreve algo muito próximo ao enunciado que conhecemos hoje como sendo a primeira lei de Newton, nega o efeito:

No vácuo, as coisas devem estar paradas; pois não há um lugar para onde as coisas possam se mover mais ou se mover menos do que para outro; pois o vácuo, sendo vazio, não possui diferenças. Além disso, **ninguém poderia dizer por que uma coisa, uma vez colocada em movimento, deveria parar em algum lugar; pois por que ela pararia aqui e não ali? Portanto, uma coisa ou ficaria em repouso ou se moveria *ad infinitum*, a menos que algo mais poderoso entrasse em seu caminho.** Pensa-se que as coisas se movem no vácuo porque ele não oferece resistência; mas em um vácuo, esta qualidade [de não oferecer resistência] está presente igualmente em todas as partes e assim, as coisas deveriam se mover em todas as direções (ARISTÓTELES, 1952b, p. 294-295, grifo nosso)<sup>28</sup>.

Com toda essa trajetória até os aspectos inerciais da concepção de Aristóteles, é perceptível que boa parte dessas concepções do filósofo em relação ao mundo físico tem origem na observação. Uma ciência sensível aos sentidos do homem e feita de análises que podem ser facilmente consideradas nos tempos modernos como ingênuas, equivocadas e distantes da realidade. No entanto, consideramos neste trabalho essa ciência como intuitiva, pois faz conjecturas do mundo real, e não em condições ideais.

Conforme abordaremos no Capítulo 4, uma parte das concepções alternativas dos alunos está ligada à associação da força com a velocidade, isto é, à inexistência do Princípio de Inércia pelo fato de que se há velocidade, há também a necessidade de uma força, e se não houver força, não há movimento. Essa concepção é semelhante à visão de movimento de Aristóteles, uma vez que, para o filósofo grego, só há movimento não vertical quando há um agente motor contínuo atuando sobre o corpo. Imaginando uma bala de canhão sendo arremessada obliquamente e que o ar pare de atuar como agente motor, só restaria à bala cessar o movimento que teria sido impelido pelo canhão. Restando, assim, apenas seu movimento natural vertical para baixo<sup>29</sup>.

Além disso, entendendo a ciência como um processo de construção por meio da interpretação dos fenômenos (BACHELARD, 2006), pode-se considerar o conjunto da obra e

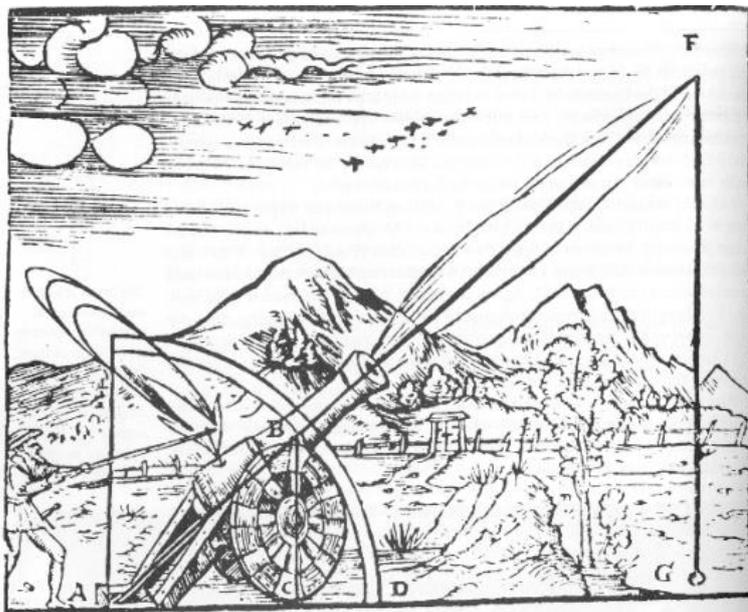
---

<sup>28</sup> Original em Anexo I, n. 6. O trecho encontra-se traduzido em Évora (2005, p. 164).

<sup>29</sup> A trajetória do movimento de uma bala de canhão prevista pelas concepções de Aristóteles está representada na Figura 7.

do pensamento aristotélico como sendo um importante passo realizado no percurso do desenvolvimento da Ciência. A perspectiva aristotélica da ciência da natureza é tão amplamente argumentada e fornecedora de sentido explicativo da natureza, sob observação e/ou utilização da metafísica, que o paradigma perdurou cerca de dois mil anos. Mesmo com ataques fervorosos durante a Idade Média, foi somente com um pensador do século XVII que o paradigma aristotélico foi substituído.

Figura 7 – Representação ilustrativa da trajetória de projéteis segundo a visão aristotélica.



Fonte: Flores (2013, *on-line*).

### 3.2 JOÃO FILOPONO DE ALEXANDRIA

Ainda que possamos dizer que a teoria aristotélica seja completa, abarcando um conjunto enorme de fenômenos, ela não esteve ausente de críticas. De acordo com Neves (2000), Hiparco de Niceia (190-120 A. E. C.) já criticava a concepção aristotélica e defendia uma espécie de impulso, um ímpeto que era impresso ao objeto movido. Uma concepção “[...] nova e que foi redescoberta, independentemente (acredita-se), no sexto século da E.C. (era comum), por Philoponus, e no século XIV, por Buridan” (NEVES, 2000, p. 545).

De acordo com Évora (2000), João Filopono de Alexandria (490-570) foi um estudioso de lógica, filosofia, matemática e astronomia. Teve Ammonio (435/445-571/526) como professor na Escola Neoplatônica de Alexandria e acabou se tornando um dos comentadores mais antigos que continha a capacidade de perceber a sutileza das obras de Aristóteles. Ainda

segundo Évora (2000, p. 56), o alexandrino “[...] escreveu importantes tratados teológicos sobre a criação e a destruição do universo, e tratados de menor significância sobre gramática e lógica”.

Sobre os comentários que foram feitos por Filopono à Aristóteles, de acordo com Évora (2000), os primeiros escritos, mesmo que sem datação, faziam alusão às seguintes obras: *Da Alma*, *Da Geração e Corrupção* e *Categorias*. Para nosso trabalho, contaremos com alguns comentários de Filopono – de acordo com Évora (2000) – a respeito dos quatro primeiros livros da obra *Física*, pois o restante dos comentários, do quinto ao oitavo livro, foram perdidos<sup>30</sup>.

Filopono criticou a dinâmica aristotélica rejeitando a concepção da substituição recíproca (*antiperistasis*) do movimento violento, sugerindo um modelo alternativo, no qual “[...] inclui um novo conceito de lugar, que por sua vez implica numa nova concepção de movimento natural e movimento violento” (ÉVORA, 2000, p. 59).

Como visto anteriormente, podemos mostrar o pensamento aristotélico, quanto ao movimento violento, por uma linguagem matemática moderna em que a velocidade é inversamente proporcional à razão entre o agente motor pela resistência do meio. Sendo assim, o agente que move o corpo é também o agente que resiste ao movimento.

Dessa maneira, Filopono desacredita do modelo e sustenta que há nele certa fragilidade, o que conseqüentemente enfraquece os argumentos de Aristóteles, fazendo com que seu modelo se pareça pouco convincente:

No caso da *antiperistasis* há duas possibilidades: ou o ar que foi empurrado adiante pela flecha (ou pedra) projetada move-se de volta para a traseira e toma o lugar da flecha (ou pedra), e estando então atrás, ele empurra-a adiante, de modo que o processo continua até o impetus do projétil se exaurir; ou não é o ar empurrado à frente, mas o ar dos lados que toma o lugar do projétil [...] Deixe-nos supor que a *antiperistasis* ocorra de acordo com o primeiro método indicado acima... Sobre esta suposição, seria difícil dizer o que é que faz o ar, uma vez empurrado adiante, mover-se de volta, isto é, ao longo dos lados da flecha (uma vez que parece não haver força contrária), e depois alcançar a traseira da flecha, voltando uma vez mais e empurrando a flecha adiante. Pois, nesta teoria, o ar em questão, deve realizar três movimentos distintos: ele deve ser empurrado para frente pela flecha, então mover-se para trás, e finalmente voltar e continuar para frente uma vez mais. Todavia, o ar é facilmente movido, e uma vez colocado em movimento, atravessa uma distância considerável. Como então, pode o ar, empurrado pela flecha, deixar de mover-se na direção do impulso impresso, mas em lugar disso, virar, como por algum comando, e retraçar seu curso? Além disso, como pode este ar, ao virar, evitar de ser disperso no espaço, mas colidir precisamente sobre o entalhe final da flecha e novamente empurrar a flecha adiante e presa a ele? Tal visão é

---

<sup>30</sup> PHILOPONOS in: *Physica 1-3*, ed. H. Vitelli, (CAG, XVI), 1887.

PHILOPONOS in *Physica 4*, com fragmentos dos comentários aos livros 5-8, ed. H. Vitelli, (CAG, XVII), 1888.

inteiramente inacreditável e chega a ser fantástica (FILOPONO apud ÉVORA, 1988, p. 66).

Ao acreditar que o modelo aristotélico é fantasioso e impossível, Filopono propõe que o meio não seja o agente motor do corpo móvel, mas apenas algo que resiste ao movimento. Resultando, então, em uma interpretação diferente para o comportamento da natureza, fazendo com que a demonstração em linguagem matemática se altere para uma ideia na qual a velocidade seja proporcional ao agente motor e a resistência do meio apenas tenha a função de dificultar o movimento do corpo.

Ao pensar dessa maneira, Filopono precisa criar uma interpretação para a causa do movimento. Assim, o agente motor deixa de ser o próprio meio e passa a ser concebido por uma nova concepção denominada de força motriz incorpórea:

[...] é necessário supor que alguma força cinética incorpórea seja cedida pelo propulsor ao projétil, e que o ar que é empurrado, ou não contribui de forma alguma ou então muito pouco para este movimento do projétil (FILOPONO, 1994 apud ÉVORA, 2000, p. 59)<sup>31</sup>.

Em linguagem moderna, assim como aponta Franklin (1976), podemos escrever matematicamente o pensamento de Filopono da seguinte maneira:

$$v \propto F - R \quad (4)$$

Então, para Filopono, a força motriz incorpórea está predestinada a ser diminuída de maneira gradual por dois fatores. Um desses fatores está relacionado com a resistência do próprio meio. O outro fator está ligado com a definição dos corpos graves, isto é, ao comportamento que todo corpo grave (pesado) tende a se mover para seu lugar natural.

Resulta do primeiro fator que, no caso de um meio que não ofereça resistência (vácuo), a força não seria diminuída. Já o segundo fator independe se o corpo está se movendo em um meio resistente ou no vácuo, pois a diminuição dessa força motriz incorpórea é diminuída por uma propriedade intrínseca aos corpos graves. Desse modo, por mais que possa existir movimento no vácuo, com as ideias de Filopono, o caráter não inercial ainda existe, pois a força motriz incorpórea é diminuída pela propriedade dos corpos graves e independe do meio.

Como já vimos anteriormente, Aristóteles (1952b) nega o aspecto inercial de seu modelo físico, argumentando que se não há algo que ofereça resistência em nenhuma parte, os corpos

---

<sup>31</sup> PHILOPONUS, J. *On Aristotle Physica 3*. Trad. M. J. Edwards. London: Duckworth & Co. Ltd., 1994.

deveriam se mover em todas as direções. Como isso não pode ser observado, o aspecto inercial não pode ocorrer.

Já em Filopono, apesar de toda a interpretação do movimento tenha sido transformada em novas concepções, o caráter não inercial continua existindo. Além disso, continua associando uma força que age constantemente sobre o corpo para que ele continue em movimento, mesmo que essa força seja diminuída pelos dois fatores de resistência que foram comentados anteriormente. Sendo assim, a força motriz incorpórea é algo imaterial que é passado do lançador para o corpo móvel com a função de manter o objeto em movimento. Ainda ela seja diminuída pela resistência do meio e da propriedade intrínseca dos corpos graves.

De acordo com Neves (2000) e Grant (1971), para o pensador Abu Ali Huceine Ibne Abdala Ibne Sina, conhecido pelo seu nome latinizado Avicena (980-1037), o empurrão dado ao objeto movido deveria perdurar infinitamente se não houvesse nenhuma resistência externa. Dessa maneira, assim como Aristóteles, ele admite a conservação do movimento com trajetória e tempo infinito, entretanto, como o efeito não poderia ser observado, acaba negando a possibilidade da existência do vácuo e, conseqüentemente, da conservação do movimento.

Também é pertinente apresentar o comentário do árabe Averróis (1126-1198), um importante comentador da visão aristotélica do século XXI. De acordo com Évora (2005), o pensador:

[...] acreditava que, como não há espaços diferenciados no vazio, os corpos mover-se-iam nele em qualquer direção para a qual fossem empurrados por uma força motriz – e, não havendo lugar natural para onde tais corpos tendessem, onde eles, uma vez chegando, permaneceriam em repouso – mover-se-iam *ad infinitum*, o que inegavelmente é absurdo, dentro da física aristotélica (ÉVORA, 2005, p. 165).

Portanto, Averróis concebe o aspecto inercial por acreditar que não havendo nada que o impeça de se mover, continue se movendo na mesma direção em que o corpo tenha sido empurrado pela força motriz.

Como podemos perceber, muitas foram as críticas realizadas contra as ideias de Aristóteles já na Idade Média. Veremos adiante que Buridan, Giordano Bruno e Galileu também são críticos aristotélicos. Ainda assim, para manter a ordem cronológica, cabe aqui alguns comentários sobre outro personagem crítico de Aristóteles, o inglês frade franciscano Guilherme de Ockham (1285-1347).

De acordo com Porto e Porto (2009), a explicação fornecida por Aristóteles para as coisas que continuam em movimento após seu lançamento era insustentável. Assim, Ockham lançou dois argumentos geniosos para contestar a explicação do movimento que havia até então,

defendendo que não há razão pela qual o lançador continue sendo causa do movimento do móvel. Afinal, se fizéssemos com que o lançador desaparecesse instantaneamente assim que o objeto fosse arremessado, como um passe de mágica, o movimento não seria extinguido.

Ockham também nega a explicação da *antiperistasis* e lança uma experiência de pensamento a partir da qual se imagina dois arqueiros disparando flechas, um em direção ao outro, a fim de que elas colidam no mesmo ponto do espaço. Entretanto, momentos antes da colisão, ocorreria uma contradição lógica. O que ocorreria com a última porção de ar estabelecida entre as duas flechas? Considerando que esta porção é a última e, portanto, indivisível, como ela poderia dar movimento para ambas as flechas? Por causa dessa impossibilidade, Ockham soluciona o problema sugerindo que os objetos lançados simplesmente continuam seu movimento, uma vez que já foram postos a se mover (PORTO; PORTO, 2009). Sobre isso, Ockham afirma:

Por conseguinte, digo que, nesse movimento que ocorre apesar da separação do objeto móvel em relação ao primeiro projetante, o princípio de tal movimento local é a própria coisa movida, por si mesma, e não por força absoluta nela existente ou força relativa, de modo que o movente e a coisa movida são absolutamente indistintos (OCKHAM apud PORTO; PORTO, 2009, p. 4601-3)<sup>32</sup>.

Com isso, percebemos uma concepção quase “minimalista” da conservação do movimento proposto por Ockham que, embora não tenha falado a respeito do tipo de trajetória que o corpo mantém o movimento, parece muito com a concepção de conservação que observamos nos livros didáticos contemporâneos: o corpo em movimento tende a permanecer em movimento.

### 3.3 JEAN BURIDAN

O padre e filósofo Jean Buridan (1300-1358) também foi um crítico da concepção aristotélica para o movimento violento. De acordo com Martins (2018), pouco se sabe sobre a vida desse pensador, sabe-se que estudou na Universidade de Paris, onde foi nomeado reitor por duas vezes; nasceu na França e dedicou-se à lógica, ética, metafísica, além de tornar-se crítico e comentador das obras de Aristóteles.

---

<sup>32</sup> G. Ockham, *Reportatio*, II, q. 26, *apud* S. Tomás de Aquino, Dante Alighieri, John Duns Scot e William of Ockham. Coleção os Pensadores, (Abril Cultural, São Paulo, 1973), 1ª ed., p. 402.

Conforme aponta Martins (2018), as obras de Buridan influenciaram o seu tempo e serviram de inspiração para Galileo e Isaac Newton, sendo esquecido posteriormente. Outro fato apontado por Martins (2018) é que as ideias de Buridan só foram resgatadas no início do século XX, por Pierre Duhem em 1913, em um momento em que passou a ser estudado por vários outros historiadores da Ciência.

Buridan, então, passou a criticar a explicação de Aristóteles quanto ao movimento de objetos lançados, os chamados movimentos violentos ou forçados. Argumentando contra o movimento aristotélico, passou a sugerir uma nova alternativa, a qual chamamos de teoria do ímpeto, ou *impetus*. Esta se diferencia do movimento aristotélico começando por sua causa ser interna, e não externa, como o ar que executa um movimento para mover outro objeto (flecha/pedra): “[...] não é necessária nenhuma causa externa para manter o movimento dos projéteis” (MARTINS, 2018, p. 5). Dessa maneira, Buridan apresentou, no livro intitulado *Questões sobre os oito livros da Física de Aristóteles*, seu modelo alternativo como explicação causal do movimento de projéteis:

[...] então [conclui Buridan] nós podemos e devemos dizer da mesma forma que algo semelhante é impresso na pedra ou no móvel projetado, que é a virtude motriz desse projétil; e isso parece melhor do que recorrer ao ar que moveria o projétil; pois, de fato, ele mais parece resistir. Portanto, parece-me que se deve dizer que **quando o motor move um corpo ele lhe imprime certo ímpeto [impetus] ou certa força motora [vis motiva] na mesma direção em que o movente o move**, seja para cima ou para baixo, ou lateralmente, ou circularmente; e quanto mais velozmente o movente move esse móvel, tanto mais forte será o ímpeto que ele lhe imprimirá. É por esse ímpeto que a pedra é movida depois que o atirador cessou de se mover. **Mas esse ímpeto diminui continuamente pela resistência do ar e pelo peso da pedra, que a inclina para uma direção contrária àquela para a qual o ímpeto tem o poder de movê-la.** Assim, o movimento da pedra se torna continuamente mais lento; finalmente, esse ímpeto fica tão diminuído ou corrompido que a gravidade da pedra o vence e move a pedra para baixo, para seu lugar natural (BURIDAN, 1509, n.p. apud MARTINS, 2018, p. 11-12, grifo nosso).

Nesse trecho, podemos perceber o caráter interno como causa do movimento dado pelo ímpeto imprimido pelo “lançador” que o inicia. Esse caráter pode ser comparado ao movimento em newtoniano, isto é, à força inata da matéria como agente causador da continuidade do movimento. Ainda, é possível compreender que o ímpeto fornecido pelo lançador, durante o movimento, é diminuído gradualmente pela resistência do meio (ar) e pelo movimento natural do objeto em ir ao centro do universo. Vale ressaltar que a força gravitacional que puxa os objetos para baixo ainda não tinha sido elaborada, portanto, prevalecia ainda a explicação pelo movimento natural criado por Aristóteles.

É importante notar que Buridan comenta sobre movimento circular, porém, assim como argumenta Martins (2018), não se trata de uma concepção mais antiga da “inércia circular” de Galileu, mas de uma espécie de ímpeto rotacional transmitido ao objeto que está sendo rodado, como um pião, ou até mesmo uma funda.

Caso não existisse a ação da resistência do meio e da propriedade intrínseca dos corpos graves, o ímpeto de Buridan teria caráter de natureza permanente. Buridan, em sua argumentação contra o movimento aristotélico e a favor do ímpeto imprimido, utiliza-se de exemplos do cotidiano. Assim, um material que fosse arremessado só por ser movido por uma espécie de ímpeto, pois, se fosse pela substituição recíproca, os objetos mais leves iriam mais longe por serem mais facilmente carregados pelo ar, como uma pena. No entanto, isso não acontece. Então, ele associa o ímpeto com a quantidade de matéria, na qual podemos montar uma relação em que o tal ímpeto transmitido ao corpo é diretamente proporcional à quantidade de matéria e à velocidade inicial.

De acordo com Neves (2000), é dessa maneira fomentada acima que Buridan determina a medida do *impetus*. Sendo assim, para Buridan, se madeira e aço, com mesma extensão e mesmo volume, fossem colocados em movimento com a mesma velocidade, o aço percorreria uma distância maior por ser constituído de maior quantidade de matéria.

Martins (2018), por essa relação de proporcionalidade explanada anteriormente, ainda faz uma comparação na qual afirma que essa concepção se assemelha à ideia de *momentum* ou quantidade de movimento, das concepções de Descartes, embora este explique a causa da conservação do movimento se dirigindo às próprias leis da natureza, e não à quantidade de movimento, o que nos leva a entender que esta última era apenas um meio de medição para o movimento, não tratando da causa.

Além disso, a teoria do ímpeto acaba tendo um papel importante na futura revolução cosmológica dos séculos XVI e XVII. De acordo com Martins (2018), Leopoldo López defende que “Buridan proporcionou a primeira unificação entre a dinâmica terrestre e a celeste” (MARTINS, 2018, p. 13). A seguir, podemos ler um trecho no qual Jean Buridan usa o ímpeto como uma maneira de explicar tanto os movimentos terrestres como os celestes:

Além disso, como não aparece na Bíblia que existam inteligências apropriadas movendo os corpos celestes, pode-se dizer que não parece necessário supor inteligências desse tipo, pois seria dito que **Deus, ao criar o mundo, moveu cada um dos orbes celestes como desejava e, ao movê-los, ele lhes imprimiu ímpetos que os moveram sem que fosse necessário que ele os movesse mais, exceto pelo método de influência geral pelo qual ele atua como coagente em todas as coisas que acontecem** (BURIDAN, 1509, n.p. apud MARTINS, 2018, p. 13, grifo nosso).

Ainda que o trecho mostre uma maneira evidente de tentativa de unificação entre a física terrestre e celeste, não podemos afirmar que ele estava consciente e desejava, intencionalmente, elaborar uma única teoria mecânica como explicação para todo o universo.

Sobre Jean Buridan, Pierre Duhem (1861-1916), o historiador da ciência que resgatou o pensador medieval, comenta:

Jean Buridan teve a incrível audácia de dizer: Os movimentos dos céus estão submetidos às mesmas leis dos movimentos das coisas aqui abaixo, a causa que mantém as revoluções das esferas celestes é a mesma que mantém a rotação da pedra de amolar do ferreiro; há uma Mecânica única pela qual todas as coisas criadas são governadas, tanto a esfera do Sol como o pião que o menino põe em rotação. Jamais houve, talvez, no domínio da ciência física, revolução tão profunda, tão fecunda quanto esta (DUHEM, 1958, p. 340)<sup>33</sup>.

Antes de finalizar estes comentários acerca de Buridan, é conveniente apresentar algumas de suas críticas em relação ao movimento aristotélico. A primeira delas refere-se à rotação de um pião. Segundo Buridan (1509 apud MARTINS, 2018), não é possível que seja o ar a causa do movimento, pois, nesse caso, o pião gira no mesmo lugar. Assim, ele não substitui o espaço onde estava o ar, portanto, não há razão para que o próprio ar seja o agente causador do movimento nessa situação.

A segunda crítica faz parte de um possível experimento de pensamento, no qual uma lança é arremessada. Entretanto, se pensarmos em uma lança que não tem a parte de trás tão pontiaguda quanto a parte da frente, adotando a concepção aristotélica, o movimento de sua projeção seria menor do que o de uma lança feita de maneira padrão. Ela teria um menor movimento porque seria mais difícil para o ar exercer certa “força” em uma região tão pequena. Seria mais fácil o ar ser dividido pela ponta traseira da lança. No entanto, isso não acontece e, por essa razão, é mais um argumento que não é explicado pela visão aristotélica.

A terceira crítica se dá quando Buridan utiliza a ideia de um barco sendo puxado de maneira muito ligeira em um rio. Quando cessa o puxão, o navio continua movendo-se durante um tempo. Ainda assim, uma pessoa presente no navio não sente nenhum vento o empurrando por trás, apenas o vento que resiste ao movimento, isto é, contrário ao movimento. Ainda supõe que se houvesse na parte de trás do navio, um carregamento de feno ou madeira, esse material, principalmente o feno, seria lançado adiante pelo ar, a favor do movimento do navio, porém é

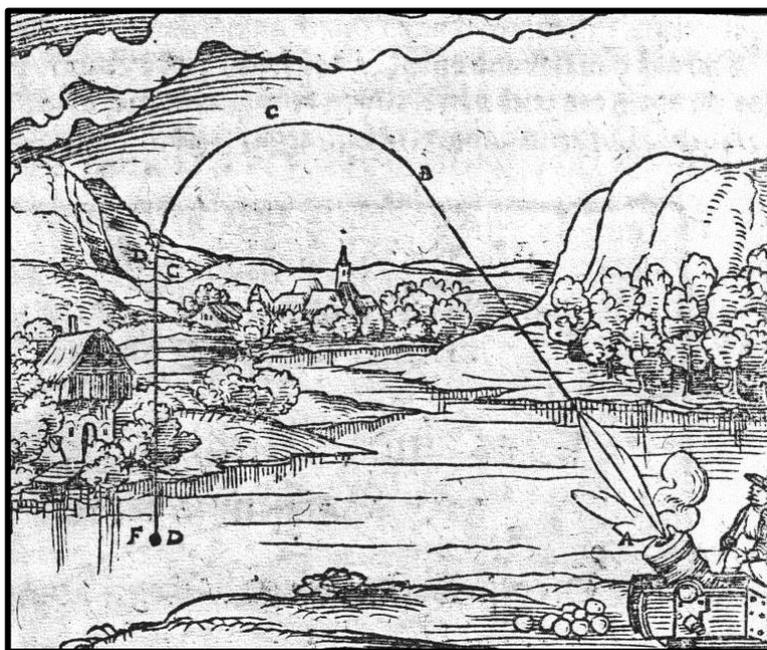
---

<sup>33</sup> Tradução nossa. Consta no Original: “Or Jean Buridan a l’incroyable audace de dire: Les mouvements des Cieux sont soumis aux mêmes lois que les mouvements des choses d’ici-bas; la cause qui entretient les révolutions des orbes celestes est aussi celle qui maintient la rotation de la meule du forgeron; il y a une Mécanique unique par laquelle sont régis toutes les choses créées, l’orbe du Soleil comme le toton qu’un enfant fait tourner. Jamais, peut-être, dans le domaine de la Science physique, il n’y eut une révolution aussi profonde, aussi féconde que celle-là”.

mais um efeito que não pode ser visualizado e que deveria ocorrer de acordo com as concepções de Aristóteles.

Sendo assim, a trajetória prevista pelo ímpeto medieval pode ser observada na Figura 8, na qual se diferencia da concepção aristotélica de acordo com a mudança do agente motor enquanto causa, a diminuição gradual da ação do agente motor e, por fim, a própria trajetória percorrida pelo móvel.

Figura 8 – Representação ilustrativa da trajetória de projéteis prevista pela teoria do ímpeto medieval.



Fonte: <<http://dailymedieval.blogspot.com/2019/03/the-theory-of-impetus.html>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

### 3.4 GIORDANO BRUNO

Giordano Bruno de Nola, ou simplesmente o Nolano, nasceu em 1548 na comuna de Nola, província de Nápoles, Itália. Giordano Bruno foi um frade dominicano formado em Teologia e estudante de muitas áreas do conhecimento humano, como a Filosofia grega, medieval e judaica, além da Matemática e da Cosmologia.

O filósofo italiano foi assassinado, queimado vivo no dia 17 de fevereiro de 1600, no Campo de Fiori, em Roma, após ter sido acusado de heresia, preso durante sete anos e sofrido tortura em 1597 pela organização terceirizada da Igreja, a Inquisição (NEVES, 2004).

Antes de ser delatado por seu suposto amigo Giovanni Mocenigo (1558-1623), em Veneza, Bruno refugiava-se dos processos de heresia feito pela Inquisição. Assim, acabou

frequentando diversos países, dentre eles: Alemanha, Inglaterra, França e Suíça. A convite de Mocenigo, Bruno voltou para a Itália, Veneza, disposto a ensinar sua Filosofia e a Arte da memória, entretanto Giovanni estava interessado em algo cuja realidade não fazia parte da filosofia do Nolano, a magia que pudesse ser direcionada para a manipulação humana.

Com a infelicidade de não conquistar seu objetivo, Giovanni se vingou de Bruno ao prendê-lo no quarto onde estava hospedado. Assim, a delação foi feita para a Inquisição, e o filósofo dos infinitos foi preso e forçado a abjurar de suas ideias porque, segundo os acusadores, o pensamento bruniano entrava em oposição às sagradas escrituras, além das falsas acusações sobre a arte da magia e da adivinhação. A abjuração de suas ideias ocorreu, entretanto, Bruno abjurou com modo e intuito de não modificar a essência de sua filosofia.

Desse modo, não abjurando totalmente de suas ideias, Giordano recebe sua sentença de morte ajoelhado diante de uma multidão e do cardeal sentenciador Madruzzi. Foi assim que, antes de ser levado à fogueira, colocaram-lhe um “prego” na língua para não cometer mais tais heresias. Giordano Bruno vitaliza sua filosofia na história resistindo até o momento final, em 1600, dizendo: “Talvez pronunciais, com mais temor, essa sentença contra mim, quanto provo eu em recebê-la” (BRUNO apud NEVES, 2004, p. 20).

Neves (2004) e Granada (2012) pontuam que é uma grande dificuldade e desafio escrever sobre o complexo personagem que é Giordano Bruno. Percebemos isso ao analisarmos sua obra intitulada *A ceia de cinzas*, escrita no ano de 1584, em Londres, durante uma de suas fugas. Essa obra se trata de um “Tetrálogo”, diálogo entre quatro personagens. Nome ironicamente atribuído por um dos personagens do livro por relatar a conversa entre eles.

*A ceia de cinzas* aborda a discussão de temas que foram apresentados e defendidos em uma reunião verdadeira, provavelmente na casa do Sir Fulke Greville, durante uma quarta-feira de cinzas no ano de 1584 (CAROLINO, 2012, p. 399). Durante cinco encontros, os personagens discutem a respeito do pensamento bruniano: a defesa do modelo heliocêntrico (copernicano) que acaba tentando romper com os dogmas cosmológicos da Ciência. A obra é complexa e de difícil entendimento porque Giordano usa muito o artifício da ironia e inúmeras referências a outros personagens da história, muitas vezes de maneira simultânea. A tradução para o português teve como base o texto crítico do filólogo Giovanni Aquilecchia, assim como suas notas, e foi realizada por Luiz Carlos Bombassaro.

O diálogo, portanto, apresenta e defende a base da filosofia bruniana por meio do personagem Teófilo (o filósofo), porta-voz do próprio Bruno, de acordo com o pesquisador Carolino (2012), que o chamou-o de *alter ego* do filósofo nolano. Além desse personagem

principal, aparecem Smith, Prudêncio (o pedante) e Frulla. Aproveitando para mostrar um exemplo das várias referências presentes na obra, Aquilecchio<sup>34</sup> assevera que Smith faz alusão, provavelmente, a John Smith; Frulla é o nome um ator de comédia e significa “coisa de pouco valor”; Prudêncio, por sua vez, é um personagem de *Francesco Belo, Il pedante*.

Conforme observamos a obra, notamos que o personagem Prudêncio (pedante) aparece como um indivíduo carregado de concepções mais antigas, como uma percepção aristotélica do mundo. Não percebemos qualquer importância – relativa às concepções físicas – acentuada nos personagens Smith e Frulla, acreditamos que tenham papéis secundários na obra.

Ainda sobre esse trabalho de Bruno, há uma pequena passagem na qual é defendida uma espécie de conservação do movimento que muito nos interessa. Durante o terceiro diálogo, momentos antes da passagem comentada anteriormente, os personagens Teófilo e Prudêncio estão discutindo sobre a imobilidade ou movimento do planeta Terra. Teófilo defende o movimento da Terra enquanto Prudêncio retoma algumas ideias dos peripatéticos. Como visto no capítulo de Aristóteles deste trabalho, o segundo livro da obra *Do Céu* indica a impossibilidade de um corpo lançado verticalmente cair exatamente no ponto onde foi lançado, pela razão de que o movimento, com grande celeridade que a Terra giraria, faria com que o corpo caísse mais atrás. Esse é um dos motivos pelo qual Aristóteles acredita que a Terra não executa nenhum movimento. Concluindo, assim, que ela necessariamente se encontra parada no centro do universo.

Essa discussão aparece durante a *Quinta proposição de Nundinio*, capítulos contidos no terceiro diálogo, quando Teófilo evoca as afirmações de tal indivíduo que, assim como os aristotélicos, tenta defender a imobilidade do planeta Terra. Bruno critica fortemente as ideias apresentadas por Nundinio e, conseqüentemente, Teófilo evoca as argumentações do Nolano em defesa do movimento da Terra em direção ao Oriente. Dessa maneira, consegue deixar o personagem Smith satisfeito com a elaborada argumentação fornecida por Giordano que contradiz o raciocínio de Aristóteles quando diz que, se houvesse de fato o movimento da Terra, “[...] seria impossível que uma pedra atirada para o alto pudesse voltar a cair seguindo uma linha reta perpendicular, pois o velocíssimo movimento da Terra deveria, necessariamente, deixá-la muito para trás, na direção do Ocidente” (BRUNO, 2012, p. 97).

De acordo com as notas de Aquilecchia, o pesquisador Clavelin em sua obra de 1968, intitulada *La philosophie naturelle de Galilée (A Filosofia Natural de Galileu)*, observa que o

---

<sup>34</sup> O livro *A ceia de cinzas*, utilizado neste trabalho é uma tradução baseada na edição crítica de Giovanni Aquilecchia, publicada pela editora *Les Belles Lettres* (Paris) sob a coordenação de Yves Hersant e Nunccio Ordine. Portanto, o texto contém a tradução das notas de Aquilecchia, feita por Luiz Carlos Bombassaro.

filósofo nolano não enuncia o princípio de conservação do movimento em momento algum. Tão pouco que esse caráter conservativo do movimento precisa ser retilíneo e constituído por uma uniformidade do movimento. De qualquer maneira, o porta-voz de Giordano apresenta o argumento do navio, um experimento de pensamento pronunciado da seguinte maneira:

[...] se existem, pois, duas pessoas, das quais uma está dentro do navio em movimento e a outra está fora, e se tanto uma quanto a outra têm a mão na mesma altura e, desde esse lugar, cada uma deixa cair uma pedra ao mesmo tempo, sem dar-lhes impulso algum, a pedra da primeira atingirá o lugar determinado, sem afastar-se nem desviar-se da linha, enquanto a pedra da segunda ficará para trás (BRUNO, 2012, p. 100).

A partir disso, temos um experimento no qual duas pedras são soltas em situações diferentes. A primeira pela mão de um indivíduo que está presente no navio, a outra, por algum indivíduo fora dele. O experimento ocorre de maneira que as duas pedras sejam soltas da mesma altura em relação ao solo<sup>35</sup>. É possível ver o mesmo experimento no filme *Àgora* (2009), que conta um pouco da história e contexto de época da filósofa Hipátia de Alexandria (351/370-415). Embora o filme apresente o experimento de Giordano, Hipátia não chegou a realizá-lo e, como a próprio longa anuncia ao final, pouco se sabe sobre os trabalhos do autor, visto que seus manuscritos foram perdidos ao longo do tempo.

Dessa maneira, a partir da observação do fenômeno, Giordano explica o motivo de ocorrer tal comportamento da seguinte maneira:

Isso ocorre somente por uma razão: a pedra lançada da mão de quem se encontra no navio e, portanto, **move-se com o movimento dele**, possui uma **força impressa [virtù impressa]** que não possui a que procede da mão de quem está fora do navio, ainda que as duas pedras tenham o mesmo peso, atravessem o mesmo ar, partam (se for possível) do mesmo ponto e experimentem o mesmo impulso. Dessa diversidade, não podemos dar outra explicação **senão esta: as coisas que estão fixas no navio, ou de algum modo fazem parte dele, movem-se com ele. A primeira pedra é dotada de uma força motora que se move com o navio**; a outra, da força motora que não participa desse movimento. Disso, percebe-se claramente que a capacidade de mover-se em linha reta não é dada pelo ponto de partida do movimento, nem pelo ponto de chegada, nem pelo meio através do qual se move, mas pela **eficácia da força impressa** originalmente, da qual depende toda diferença (BRUNO, 2012, p. 100-101, grifo nosso).

Desse modo, podemos perceber que Bruno acreditava em uma espécie de compartilhamento de movimento que era fornecido pelo navio às coisas que continham nele ou

---

<sup>35</sup> Para melhor compreensão do experimento do navio apresentado por Bruno, recomendamos o vídeo do *O Universo Mecânico*, que contém o mesmo princípio, apresentado entre os minutos 18:57 e 19:32. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=\\_5EyBy1wkJg](https://www.youtube.com/watch?v=_5EyBy1wkJg)>. Acesso em: 27 ago. 2020.

faziam parte dele. Ocorrendo dessa maneira uma espécie de transmissão de uma força motora que faz com que a pedra conserve o movimento. Além disso, Bruno usa o termo *força impressa*, que segundo as notas de Aquilecchia, “[...] corresponde ao impetus impressus dos filósofos parisienses do século XIV” (BRUNO, 2012, p. 100). Como já visto, um dos pensadores parisienses que incluiu a ideia de *impetus* ao sistema aristotélico de movimento foi Jean Buridan e, portanto, acreditamos que o termo empregado pelo nolano remeta-se ao pensador francês.

Diante disso, concluímos uma etapa do conceito de conservação do movimento que se tornou de grande importância. Em primeiro lugar, pelo ato de resgatar as concepções de Aristóteles sobre a imobilidade da Terra e a argumentação dos corpos que caem de maneira vertical, não sendo deixados para trás; em segundo, porque outro pensador italiano, Galileu Galilei (1564-1642), reviverá a argumentação dos aristotélicos e de Giordano Bruno para ir além na discussão acerca da conservação do movimento.

### 3.5 GALILEU GALILEI

Esse personagem da história é considerado um ícone, sobretudo para os físicos. Por sua complexa personalidade e pela importância de suas obras, pode ser considerado um dos grandes fundadores da Ciência moderna. Em função dessa estima por parte dos estudiosos, tornou-se foco de estudo em diversos trabalhos. Até o ano de 1983 tinham sido realizadas mais de oito mil pesquisas sobre Galileu (ZYLBERSZTAJN, 1988), em diferentes áreas, como a Física, Filosofia e Arte.

Galileu Galilei nasceu em uma família nobre, na cidade de Pisa, Itália, no dia 15 de fevereiro de 1564, seis anos após o nascimento de Giordano. Morreu cego e preso no dia 18 de fevereiro de 1642, ano que nasce outro ícone presente na história da física: Isaac Newton (BARRACO, 1996). Em 1581, começou seus estudos na área de Medicina na Escola de Artes de Pisa, mas abandonou a área, passando a estudar Matemática em 1585. Após quatro anos de dedicação exclusiva à Matemática, tornou-se professor da disciplina na universidade da cidade natal. De acordo com Barraco (1996) no capítulo intitulado *Vida e Obra*, da coleção *Os Pensadores*, é nessa época que Galileu passou a investigar fenômenos físicos por meio de uma análise matemática, chegando à elaboração da lei que descreve a queda livre dos corpos, em 1604. Ação essa que contraria a visão aristotélica de ciência, embora não seja uma prática exclusivamente nova. Afinal, de acordo com Koyré (2011), Niccolò Tartaglia (1499-1557) havia feito tentativas de descrever matematicamente o fenômeno acerca do lançamento de

projéteis, assim como também fiz Leonardo da Vinci (1452-1519), embora apenas Tartaglia tenha o trabalho publicado. A saber, tais estudiosos defendiam que um projétil lançado obliquamente percorria uma trajetória de formato semelhante a uma parábola, caindo com pouca curvatura devido à resistência do meio. Tartaglia, por sua vez, foi o primeiro a publicar que a partir do momento do lançamento de um corpo, a trajetória já é curva, ainda que o grau de curvatura seja tão mínimo ao ponto de poder ser desprezada.

Em 1610, um ano após ter conhecimento acerca da existência do telescópio, Galileu parte para os estudos astronômicos, em Florença, em conjunto com o Grão-Duque da Toscana, Cosimo II de Medici (1590-1621) (BARRACO, 1996). Foi nesse mesmo ano que Galileu publicou a obra *Sidereus nuncius* (*O mensageiro Celeste*, em tradução livre), que apresenta a Lua, mas não como uma superfície lisa, perfeita e com manchas formadas por sombra. Por sua familiaridade com a pintura e, em especial, o sfumato e o *chiaroscuro*, Galileu notou que as “sombras” da Lua eram crateras, criando uma relação contrária à perfeição dos corpos celestes que havia na época.

Esse episódio da história está repleto de interação entre Arte e Ciência e de uma relação de amizade entre Galileu e o pintor florentino Lodovico Cardi da Cigoli (1559-1613). Em 1613, Cigoli conclui a pintura de um afresco localizado na cúpula da capela Paolina na Basílica Papal de Santa Maria Maggiore, em Roma, representando a Lua de forma craterada (“maculada”), sob os pés da virgem Maria. Isto é, três anos após a publicação das imagens da Lua de Galileu em seu *Sidereus* (SILVA; NEVES, 2015).

A aproximação da arte e a ciência, presente no episódio fomentado anteriormente, mostra uma realidade diferente quanto à produção da ciência, fortificando a posição de que, mesmo durante a observação de um fenômeno, não há como nos mantermos neutros, pois a simples vivência de cada observador influenciará naquilo que será visto. Foi dessa maneira que as manchas foram vistas como crateras, e não sombras.

Em 1612, Galileu publicou *Discurso sobre as Coisas que Estão sobre Água*, uma crítica à teoria aristotélica que ridiculariza a ideia dos elementos primordiais e, sobretudo, ao elemento éter<sup>36</sup> que compõe a perfeição dos corpos celestes. O pensador italiano, assim como Giordano,

---

<sup>36</sup> Em algumas passagens da obra *Do Céu*, Aristóteles aborda a composição dos corpos celestes como sendo formado pelo quinto elemento denominado éter, também chamado de quintessência. Um elemento que apresenta a virtude da pureza, da eternidade, da inalterabilidade e da incorruptibilidade. Um dos trechos correspondente pode ser observado a seguir: “[...] parece que foram os antigos que transmitiram o nome desse corpo à época atual [...] Concebendo que o corpo primário era algo distinto e além da terra e do fogo, do ar e da água, conferiram o nome de éter à região mais elevada, tirando esse nome de **sempre flui** eternamente” (ARISTÓTELES, 2014, p. 51-52, grifo do autor).

apoia a teoria copernicana e, no ano seguinte, mais uma vez lança críticas acerca da composição dos astros formados pelo elemento perfeito, o éter. A obra é intitulada *História e Demonstração sobre as Manchas Solares*. A análise das manchas solares contrariava a ideia da necessária perfeição dos corpos que formavam o universo acima da esfera da Lua, contrariando, portanto, os textos bíblicos e fomentando um incomodo por parte da igreja (BARRACO, 1996).

Após a necessidade de algumas justificativas para não incendiar ainda mais a ira das entidades religiosas, Galileu permaneceu em silêncio por alguns anos, voltando apenas em 1623 com a publicação de *O Ensaaiador*. Também nesse período iniciou o processo de escrita de um dos seus livros mais famosos, o *Diálogo sobre os Dois Maiores Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano*, este publicado somente em 1632. Por fim, com as sucessivas críticas lançadas contra a filosofia aristotélico-escolástica e a publicação do *Diálogo*, Galileu causou incomodo real na igreja, sendo convocado no mesmo ano pelo tribunal do Santo Ofício (BARRACO, 1996). Foi condenado à uma espécie de prisão domiciliar no ano seguinte por abjurar de suas ideias.

Em 1938, já no final de sua vida, Galileu publicou clandestinamente a obra *Discurso a respeito de Duas Novas Ciências*. E, quatro anos após a perda da visão e a publicação de sua última obra, no dia 18 de janeiro de 1642, Galileu morreu.

Apesar de Galileu ter abjurado em 22 de junho de 1633 – diante das autoridades religiosas do Santo Conselho, foi condenado aos 70 anos de idade, permanecendo assim até o momento de sua morte, aos 78 anos –, a igreja reconsiderou a postura tomada no passado. Essa atitude ocorreu no dia 31 de outubro de 1992, compondo 350 anos da morte do pensador italiano, quando o papa João Paulo II declarou o fato como uma espécie de engano cometido contra Galileu pelo tribunal eclesiástico, ao acusá-lo de heresia. Sobre essa reabertura do processo de Galileu, Feyerabend (2011b, p. 169) defende que a postura da igreja, acerca do indiciamento de Galileu, na época foi um ato “[...] racional, e somente oportunismo e falta de perspectiva podem exigir uma revisão”.

### 3.5.1 O Porão do Navio de Galileu

Galileu escreveu uma carta de resposta para o padre Francesco Ingoli (1578-1649), após oito anos de silêncio, com o título original *Lettera a Francesco Ingoli (Carta à Francisco Ingoli*, em tradução livre), publicado na *Edizione nazionale delle opere di Galileo Galilei (Edição nacional das obras de Galileu Galilei)*, em Florença, no ano de 1933. Em posse da

tradução direta do texto original italiano, notamos que Galileu discute e critica com Ingoli sobre as falsas hipóteses lançadas contra a perspectiva copernicana. No corpo do texto, Galileu apresenta um argumento elaborado com aspecto poético que, embora não encontremos referência a Giordano Bruno, é uma versão elegante do exemplo do navio publicado na *ceia de cinzas* do nolano. Esse trecho relativo ao experimento do porão do navio é importante porque está diretamente relacionado à conservação do movimento. A discussão em pauta parte da afirmação de Ingoli, em concordância com Aristóteles, de que:

[...] se a Terra girasse sobre si mesma em 24 horas, as pedras e os outros corpos graves que caem do alto para baixo, do cimo, por exemplo, de uma torre alta, não acabariam por percutir na Terra ao pé da torre; visto que no tempo em que a pedra se mantém no ar descendo em direção ao centro da Terra, essa Terra, procedendo com suam velocidade para levante e levando consigo o pé da torre, acabaria por necessidade deixando para trás a pedra por tanto espaço quanto o da vertigem da Terra, no mesmo tempo, tivesse corrido para frente, o que seriam muitas centenas de braçadas (GALILEI, 2005, p. 502).

Ora, é a mesma argumentação que o personagem Teófilo, porta-voz de Giordano, precisou rebater para defender o movimento de rotação do planeta Terra. Veremos, a seguir, que Galileu, para argumentar contra a visão aristotélica quanto a imobilidade da Terra, segue pelos mesmos caminhos que Giordano, inclusive, utilizando da concepção de ímpeto, além de uma possibilidade de conservação circular.

Primeiramente, Galileu rebate a argumentação dos aristotélicos alegando falácia ao dizerem que o fenômeno pode ser observado experimentalmente quando se deixa cair livremente uma pedra do alto do mastro de um navio, enquanto este último se afasta da margem. Os defensores dizem que a pedra cai afastada da base do mastro. Galileu nega que o experimento foi realizado, porque esse não é o comportamento ocorrido nessa situação. Sobre o experimento, Galileu contraria até as alegações de Tycho Brahe (1546-1601) quando diz: “[...] se vós e Tycho quisésseis sinceramente confessar a verdade, diríeis jamais ter experimento [...] tenho tanta certeza que não as haveis feito quanto que para quem as faz o efeito acontece ao contrário daquilo que, com tanta confiança, eles diziam” (GALILEI, 2005, p. 504).

Assim que ataca as supostas observações dos aristotélicos, chegando a inferir que dizem o contrário do efeito e que ainda acrescentam uma mentira, Galileu apresenta sua perspectiva, também com a concepção de ímpeto e com uma explicação semelhante àquela de Giordano Bruno sobre movimento das partes e do todo:

[...] enquanto o navio está em curso, com igual **ímpeto** move-se também aquela pedra, cujo **ímpeto** não se perde porque aquele que a segurava abra a mão e a deixe em liberdade, mas antes nela se conserva indelevelmente, de modo que esse [**ímpeto**] é suficiente para fazer a pedra seguir o navio; e pela

própria gravidade, não mais impedida por aquele [que a segurava], vem para baixo, compondo com ambos um só movimento transversal e inclinado (e **talvez mesmo circular**) para onde caminha o navio; e, assim, vem cair naquele mesmo ponto do navio em que caía quando o todo estava em repouso (GALILEI, 2005, p. 504, grifo nosso).

Embora tenha criticado Tycho e o próprio Ingoli, Galileu acaba concordando as alegações acerca do lançamento de projéteis das artilharias. De acordo com a carta, ambos dizem que os projéteis cairão da mesma forma em qualquer lugar do planeta, sem diferença alguma, contudo Galileu vai além, dando início a uma ideia que se tornará mais forte no *Diálogo*. Conhecido como Princípio da Relatividade do movimento, no qual alega que “[...] o movimento em comum é como se não existisse” (GALILEI, 2011). Assevera, ainda, “[...] que isso acontecerá porque assim é necessário que aconteça, mova-se ou esteja parada a Terra, nem qualquer diferença imaginável pode perceber-se” (GALILEI, 2005, p. 505).

Embora o trecho do porão do navio, que mostra a reflexão de Galileu, seja um tanto longo, acreditamos que constitua importância válida mostrar como o autor expõe sua visão acerca do movimento:

No maior compartimento existente sob a coberta de um grande navio, fechai-vos com algum amigo, e fazei que aí existam moscas, borboletas e semelhantes animaizinhos voadores; tomai também um grande recipiente com água, contendo pequenos peixes; acomodai ainda ao alto algum vaso que vá gotejando em um outro, de boca estreita, 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 qualquer parte do vaso; as gotas cadentes entrarem todas no vaso posto embaixo; e vós, lançando uma fruta 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 todas essas coisas, e fazei mover o navio com quanta velocidade desejardes; porque (sempre que o movimento seja uniforme e não flutuante de lá para cá) não reconhecereis uma mínima mudança em todas as mencionadas coisas, nem de nenhuma delas, nem mesmo de algo que esteja em vós mesmos, podereis assegurar-vos se o navio caminha ou está parado: saltando, percorreríeis no tablado os mesmo espaços que antes, nem daríeis saltos maiores para a popa que para a proa, porque o navio se move muito velozmente, ainda que, no tempo durante o qual estejais no ar, o tablado subjacente deslize para a parte contrária ao vosso salto; e lançando uma fruta ao companheiro, não será necessário lança-la com mais força para alcança-lo, se ele estiver para a proa e vós para a popa, que se estivésseis colocados ao contrário; 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 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 por muito tempo elas estariam separadas, isto é, enquanto ficam suspensas no ar; 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 se mantém, movendo-se indiferentemente não mais para esta do que para aquela parte. E se de todos esses efeitos me perguntardes a razão, responder-vos-ei por ora: ‘porque o movimento universal do navio, sendo comunicado ao navio e a todas as coisas que nele estão contidas, e não sendo contrário à inclinação natural delas, nelas indelevelmente se conserva’; [...] mostram-se [estas experiências] exatamente iguais tanto quando o navio se mova quanto se ele está parado, não deixareis toda dúvida de que o mesmo deva acontecer a respeito do globo terrestre, sempre que o ar acompanhe o globo? (GALILEI, 2005, p. 505-506).

### 3.5.2 A conservação do movimento segundo o Diálogo

Publicada em 1632, a extensa obra *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano* é um ataque à ciência da época e às censuras da inquisição contra as ideias de Nicolau Copérnico (1473-1543).

O livro foi construído em quatro partes principais, chamadas de jornadas. A dinâmica do livro é parecida com a obra *A ceia de cinzas*, de Giordano Bruno, em que os personagens discutem sobre a natureza física. Assim como em Giordano, Galileu apresenta alguns personagens que possuem papel fundamental. De acordo com Mariconda (2011), por exemplo, o personagem Salviati é a representação das ideias do próprio Galileu. Sagredo aparece como característica da praticidade da ciência, da inovação, quase uma representação de engenharia “leonardesca” que surgira no Renascimento. Enquanto Simplicio representa os dogmas aristotélicos, os professores tradicionais que adotavam o comportamento dos “peripatéticos”.

Dessa maneira, a primeira jornada, chamada “A Homogeneidade do Mundo”, critica a física aristotélica, abordando os movimentos naturais, a comparação da física terrestre e celeste, o movimento da Terra e a sua relação com a Lua. Além disso, também tece críticas acerca da estrutura que molda a teoria ptolomaica. Como aponta Mariconda (2011), apesar de parecer um trabalho voltado para questões astronômicas, seu conteúdo foge das demonstrações e técnicas matemáticas que foram propostas por Copérnico. O indivíduo que acabou trabalhando essas abordagens de maneira mais incisiva foi Johannes Kepler (1571-1630). Assim, a obra não é um tratado de astronomia.

A segunda, e mais importante jornada para este trabalho, é a jornada conhecida como “O movimento diurno da Terra”, em que Galileu, por meio da figura de Salviati, discute sobre

a hipótese aristotélica acerca da imobilidade de Terra. É nesse momento que é apresentado o princípio da relatividade do movimento e a conservação do movimento circular (“inércia circular”).

A terceira jornada aborda o movimento anual da Terra. Por fim, na quarta jornada, Galileu apresenta sua teoria das marés, que seria uma comprovação experimental de que a Terra está em movimento, segundo o próprio pensador.

Como já havíamos adiantado, Galileu apresentou seus argumentos e ideias sobre o movimento por meio do diálogo entre os personagens. O pensador italiano manteve sua concepção, descrita pelo experimento do porão do navio, de que o movimento em comum entre dois ou mais corpos é imperceptível, isto é, como se não existisse. Podemos observar isso no seguinte trecho:

Salviati - [...] o princípio de nossa contemplação o considerar que qualquer movimento que seja atribuído a Terra, é necessário que para nós, **como habitantes daquele e conseqüentemente partícipes do mesmo, ele fique totalmente imperceptível e como se não fosse**, enquanto considerarmos unicamente as coisas terrestres (GALILEI, 2011, p. 196, grifo nosso).

Recapitulando algumas ideias anteriores: Aristóteles argumentou sobre a necessidade de imobilidade da Terra dizendo que caímos sempre no mesmo lugar, em sentido vertical, quando pulamos ou soltamos algum objeto. Giordano Bruno, por sua vez, propôs o experimento no navio para tentar convencer de que, na verdade, desconsideramos a existência de uma espécie de ímpeto que é transmitido do navio ao objeto em queda. É com esse argumento que Bruno criticou os aristotélicos e tentou convencer a humanidade da mobilidade da Terra. Aparentemente, Galileu notou que ambas as argumentações partem de princípios idênticos, embora tenham resultados contrários. Galileu foi além e, partindo do mesmo fundamento que os dois autores anteriores, é como se tivesse dito: o movimento em comum, isto é, compartilhado, é impossível de ser percebido se fizermos parte desse movimento. Por essa exclusiva razão, é impossível determinar se a Terra está se movendo ou se permanece imóvel. Além disso, o pensador propôs uma solução para averiguar se a Terra está em movimento ao sugerir:

Salviati - [...] De modo que o verdadeiro método para investigar se algum movimento pode ser atribuído à Terra, e, podendo ser, qual seja ele, é o de considerar e observar se nos corpos separados da Terra percebe-se alguma aparência de movimento, o qual compete igualmente a todos; porque um movimento que somente fosse percebido, por exemplo, na Lua, e que nada tivesse a ver com Vênus ou com Júpiter nem com as outras estrelas, não poderia de modo algum ser da Terra, nem de outros corpos a não ser da Lua (GALILEI, 2011, p. 196).

A defesa de que nada pode ser dito quanto a imobilidade ou movimento da Terra é mais direto no trecho:

Salviati - [...] 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 mesmas aparências ver-se-iam tanto em uma como na outra posição (GALILEI, 2011, p. 196-197, grifo nosso).

Dizer que a Terra está imóvel e que o restante do universo gira ao nosso redor é intuitivo. Afinal, observamos de “dentro” da Terra o Sol e os demais astros passando por nossas cabeças. Ainda assim, Galileu diz que não se pode pensar unicamente, como que superficialmente, porque o efeito resultante observável é o mesmo, seja para o movimento dos corpos celestes, seja o movimento exclusivo da Terra, embora para Galileu seja mais provável que ocorra apenas o movimento exclusivamente terrestre por uma questão de simplicidade. Ao contrário do que seria rodar todo o universo.

O personagem Salviati também evoca o experimento do mastro do navio, utilizado por Giordano Bruno, para enfrentar as concepções dos seguidores aristotélicos e satirizar o espírito experimentalista daqueles que não experimentaram o próprio argumento e apenas se deixaram levar por uma espécie de argumento de autoridade.

Resumidamente, Simplício é o personagem que acredita que a pedra solta do mastro do navio cairia mais para trás do pé do mastro. Salviati, então, percebendo a credibilidade em que Simplício se prende a tal experimento, aproveita a oportunidade para iniciar uma argumentação incisiva. No trecho a seguir, Salviati parte da seguinte problemática dirigida à Simplício: “[...] que deva razoavelmente acreditar que o que se vê acontecer nela [experiência do navio], deva acontecer também para o globo terrestre?” (GALILEI, 2011, p. 225). Simplício concorda e Salviati parte para o ataque às ideias aristotélicas cultivadas por Simplício:

Salviati – Agora disse-me: se a pedra deixada cair do cimo do mastro, quando o navio navega com grande velocidade, caísse precisamente no mesmo lugar do navio no qual cai quando o navio está parado, qual é o serviço que prestariam essas quedas quanto a assegurar-vos se o navio está parado ou se está navegando?

Simplício – Absolutamente nenhum: do mesmo modo que, por exemplo, da batida de pulso não se pode saber se alguém dorme ou está acordado, porque o pulso bate do mesmo modo para os que dormem como para os que estão despertos.

Salviati – Muito bem! Fizestes alguma vez a experiência do navio?

Simplício – Nunca a fiz; [...].

Salviati – Que é possível que aqueles autores a proponham sem tê-la efetuado, vós mesmos sois um bom testemunho [...] qualquer um que a fizer, encontrará que a experiência mostra totalmente o contrário do que está escrito [...]. Onde, por ser a mesma razão válida para a Terra e para o navio, da queda da

pedra sempre perpendicularmente ao pé da torre **nada se pode inferir sobre o movimento ou repouso da Terra** (GALILEI, 2011, p. 225-226, grifo nosso).

Uma vez que Galileu é um defensor da mobilidade da Terra, Simplício permanece incrédulo diante da argumentação de Salviati que, embora muito bem estruturado, não possa dizer que a Terra se mova. Dessa maneira, Salviati se aprofunda em outra argumentação para convencer Simplício. Mesmo sendo extenso, julgamos necessário apresentar o próximo trecho que mostra tal embate e fornece mais informações quanto à conservação do movimento estabelecido por Galileu.

Salviati – Não desejo que digais ou respondais nada saber a não aquelas coisas que seguramente sabeis. Por isso, dizei-me: quando tivésseis uma superfície plana, polidíssima como um espelho e de matéria dura como o aço, e que não fosse paralela ao horizonte, mas um pouco inclinada, e sobre a qual se colocasse uma bola perfeitamente esférica e de matéria pesada e duríssima, como, por exemplo, de bronze, deixada em liberdade, o que acreditais que ela faria? Não acreditais (assim como eu) que ela ficasse parada?

Simplício – Se aquela superfície fosse inclinada?

Salviati – Sim, porque assim o supus.

Simplício – Não acredito de modo algum que ela ficasse parada; ao contrário, estou perfeitamente seguro de que ela se moveria espontaneamente na direção do declive.

Salviati – Prestai bastante atenção ao que dizeis, Sr. Simplício, porque estou certo de que ela ficaria parada em qualquer lugar que fosse colocada. [...] E qual seria a duração do movimento daquela bola, e com que velocidade? Notai que me referi a uma bola perfeitissimamente redonda e a um plano perfeitamente polido, para remover todos os impedimentos externos e acidentais. E assim também quero que seja abstraído o impedimento do ar mediante a sua resistência a ser aberto, e todos os outros obstáculos acidentais, se outros pudessem existir.

Simplício – Compreendi tudo perfeitamente: quanto à vossa pergunta, respondo que ela continuaria a mover-se ao infinito, se tanto durasse a inclinação do plano, e com um movimento continuamente acelerado; porque tal é a natureza dos móveis graves, que *vires acquirant eundo* [adquirem força avançando]: e, quanto maior fosse a inclinação, maior seria a velocidade.

Salviati – Mas, se outros quisessem que a bola se movesse para cima sobre aquela mesma superfície, acreditais que ela subiria?

Simplício – Espontaneamente não, mas só arrastada ou lançada com violência.

Salviati – E quando ela fosse impelida por algum ímpeto que lhe fosse violentamente impresso, qual e quanto seria o seu movimento?

Simplício – O movimento iria sempre enfraquecendo e retardando-se, por ser contra a natureza, e seria mais demorado ou mais breve, segundo o maior ou menor impulso e segundo o maior ou menor aclave.

Salviati – Parece-me, portanto, até aqui, que vós me haveis explicado os acidentes de um móvel sobre dois planos diferentes; e que no plano inclinado o móvel pesado espontaneamente desce e vai continuamente acelerando-se, e que, para retê-lo em repouso, é necessário usar força; mas sobre o plano ascendente é necessário força para fazê-lo avançar e também para pará-lo, e que o movimento que lhe foi impresso vai continuamente enfraquecendo, até que finalmente se anula. Dizeis que ainda mais que em um e em outro caso nasce uma diferença dependendo de se a declividade ou aclividade do plano

for maior ou menor; de modo que a uma inclinação maior corresponde uma maior velocidade e, ao contrário, sobre o plano em aclave o mesmo móvel lançado pela mesma força move-se uma distância maior quanto menor seja a elevação. Dizei-me agora o que aconteceria com o mesmo móvel sobre uma superfície que não estivesse nem em aclave nem declive.

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

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

Simplício – Continuará a mover-se na direção daquela parte.

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

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

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

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

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

Simplício – Parece-me que sim, sempre quando o móvel fosse de matéria duradoura (GALILEI, 2011, p. 227-229).

Dessa maneira, Galileu estabeleceu o princípio da conservação do movimento, seja em permanecer imóvel ou em movimento constante. Nessa perspectiva galileana, podemos notar que, mesmo inserindo a palavra ímpeto para representar algo que fornece o movimento, a conservação do mesmo não acontece por razão de uma espécie de ímpeto. A argumentação está mais concentrada na ideia de que não existe razão para que o corpo, uma vez posto em movimento, deva parar. Poderíamos compará-la, como quem aproxima uma coisa de outra, com a concepção cartesiana da conservação, se não fosse pela fundamentação teológica dada por Descartes, ou pela necessidade de que a conservação, para Galileu, exija uma trajetória circular por razões dos movimentos naturais, isto é, do comportamento natural de queda dos corpos.

De acordo com Porto e Porto (2009), a conservação do movimento de Galileu é circular porque está relacionada a essa tendência dos corpos graves em se deslocarem naturalmente ao centro da Terra. Assim, temos que o movimento para cima e o movimento para baixo é desacelerado e acelerado, respectivamente, por ser contrário e a favor dessa tendência. Entretanto, quando falamos de um plano horizontal:

[...] essa tendência não é nem contrariada nem favorecida, de modo que Galileu concluiu que a velocidade do movimento não deveria aumentar nem diminuir. Contudo, se refletirmos com cuidado, veremos que este plano

horizontal será tangente à superfície da Terra. Na verdade, ao percorrê-lo, um corpo se afastaria fatalmente do centro da esfera (Terra) à qual o plano é tangente e assim realizaria um movimento contrário a sua tendência natural de aproximação do centro. Por conseguinte, um tal movimento não poderia se executar com velocidade constante. Em realidade, o movimento que poderia se realizar com velocidade constante, pois não se configura nem como uma violência à tendência natural de aproximação do centro, nem tampouco em uma consumação desta tendência, seria um movimento que mantivesse uma distância fixa do centro do planeta, ou seja, um arco de circunferência concêntrico com a Terra. O verdadeiro movimento uniforme, dotado de uma tendência inercial à continuidade, é, para Galileu, o movimento circular uniforme (PORTO; PORTO, 2009, p. 4601-7).

Essa concepção do movimento uniforme circular também pode ser observada no início da primeira jornada do *Diálogo*. É perceptível, também, que Galileu inseriu uma outra característica ao propor as experiências, de maneira a desprezar a resistência do ar, do atrito e qualquer influência externa, com exceção à tendência dos corpos graves, isto é, supondo situações ideais, muito vistas em Descartes e Newton e pouco observadas nas concepções medievais. Assim, notamos que a concepção galileana já está muito mais próxima da conceituação que vemos em sala de aula.

Mesmo que Galileu tenha incluído uma abordagem de sistema idealizado para seu desenvolvimento científico, alterando, de certo modo, a maneira de como produzir conhecimento, a Ciência galileana é mais complexa do que isso. Outros autores abordaram tanto o método quanto as ações de Galileu para Ciência, mostrando outras perspectivas sobre esse pensador pisano. A seguir, abordaremos as interpretações de Feyerabend, Duhem e Koyré acerca da ciência de Galileu.

### 3.5.3 A Ciência de Galileu, de acordo com Feyerabend e outros pensadores

Paul Karl Feyerabend (1924-1994) foi um epistemólogo austríaco que causou tanta polêmica com sua obra intitulada *Contra o Método* (2011b) que a famosa revista *Nature*, no ano de 1987, classificou-o como o “pior inimigo da Ciência”<sup>37</sup> (DAMAZIO; PEDUZZI, 2016). Além disso, Feyerabend foi alvo das críticas do filósofo e epistemólogo argentino Mario Bunge (1919-), no livro intitulado *Cápsulas* (2003), que o chamou de “[...] criança-problema da filosofia do século XX” (p. 25)<sup>38</sup>. Críticas também foram feitas pelos epistemólogos Karl Raimund Popper (1902-1994) e Thomas Samuel Kuhn (1922-1996). Infelizmente, o amigo

---

<sup>37</sup> Thecharis, T. e Psimopoulos, M. (1987). Where science has gone wrong. *Nature*, v. 329, n. 6140, p. 595-598.

<sup>38</sup> No original: “el niño terrible de la filosofía del siglo XX”.

racionalista de Feyerabend, Imre Lakatos (1922-1974), que o apelidou de “anarquista epistemológico”, faleceu antes de replicar as ideias do austríaco. Eles publicariam um livro em conjunto (FEYERABEND, 2011b), mas por essa fatalidade, Feyerabend acabou publicando sozinho seu livro mais polêmico, *Contra o Método*.

A título de curiosidade, Feyerabend tinha doutorado em Física pela Universidade de Viena, um título de *doutor honoris causa*, foi professor de várias instituições, além de se interessar por áreas artísticas como o teatro (DAMASIO; PEDUZZI, 2015).

No livro *Contra o método* (2011b), Feyerabend defendeu que a Ciência é um negócio, um empreendimento anárquico e que, mesmo não sendo a política mais atraente, é a que menos inibe o desenvolvimento da própria Ciência. Afinal, analisando historicamente o progresso da ciência é possível notar que “tudo vale” (Feyerabend, 2011b). A declaração de Feyerabend é uma versão mais ácida e drástica da crítica feita por Popper em *A lógica da pesquisa científica*, na qual critica o método científico como sendo a única maneira de se fazer ciência (POPPER, 2004). Classificamos como mais drástica, porque ao analisarmos a história, como propõe Feyerabend, notamos que não existe regra alguma, levando-o a apresentar a ideia, de forma irônica e contra os racionalistas, de que *tudo vale*.

Ao pensar nas mudanças sobre as concepções de movimento ao longo da história, que culminaram na elaboração do Princípio de Inércia, por Isaac Newton (1642-1727), é possível notar que as justificativas para tal princípio fogem de algum método específico, utilizando, muitas vezes, uma argumentação metafísica e/ou uma fundamentação teológica. Nesse sentido,

A ideia de um método que contenha princípios firmes, imutáveis e absolutamente obrigatórios para conduzir os negócios da ciência depara com considerável dificuldade quando confrontada com os resultados da pesquisa histórica. Descobrimos, então, que não há uma única regra, ainda que plausível e solidamente fundada na epistemologia, que não seja violada em algum momento (FEYERABEND, 2011b, p. 37).

Dessa forma, Feyerabend defendeu que essas violações de um método e/ou de uma ideia precisam ocorrer, necessariamente, para que a Ciência continue progredindo de maneira a desenvolver o conhecimento. Segundo Feyerabend (2011b, p. 37), aqueles que “*decidiram* não se deixar limitar por certas regras metodológicas ‘óbvias’, ou porque as *violaram inadvertidamente*” é a causa do surgimento de novas teorias, como o atomismo moderno e a teoria ondulatória da luz. Agir de maneira contrária, muitas vezes, torna-se necessário. Feyerabend chama essa ação de um proceder *contraindutivamente*. Afinal, “[...] os experimentos realizados no *Fermi National Accelerator Laboratory* usam plantas industriais de

larga escala. Partículas elementares são fabricadas, não encontradas” (FEYERABEND, 2020, p. 36038).

É válido notar que Feyerabend, assim como apontam Damasio e Peduzzi (2015), não faz parte da linha anárquica ingênua, que critica o método de maneira a destituí-lo de qualquer benefício para Ciência. Por mais crítico que fosse em relação aos métodos e padrões estabelecidos pela comunidade científica, declara não fazer parte dos que descartam tais procedimentos como se não tivessem mérito ou utilidade alguma. Ao contrário disso, Feyerabend defendeu que são artifícios que, em diversas situações, auxiliam no empreendimento da Ciência.

Nos capítulos de *Contra o Método* que dissertam sobre Galileu, Feyerabend (2011b) começa por introduzir sobre duas vertentes das denominadas *interpretações naturais*, isto é, operações que ocorrem mentalmente e passam a existir contiguamente aos sentidos. Uma das vertentes é a de Immanuel Kant (1724-1804), que tem as interpretações naturais como *pressupostos a priori*. Enquanto a outra, de Francis Bacon (1561-1626), discute acerca de *preconceitos* que precisam ser descartados. É importante ressaltar que, de acordo com Feyerabend “[...] Galileu é um daqueles raros pensadores que não desejam nem *conservar* para sempre as interpretações naturais nem *eliminá-las* completamente. [...] Ele insiste em uma *discussão crítica* para decidir quais [...] podem ser mantidas e quais devem ser substituídas” (2011b, p. 90).

Com isso, Feyerabend classifica em caráter operativo e não operativo, ou seja, uma relação de algo perceptível, sensível para o operativo, e imperceptível para o não operativo. Segundo o estudioso, Galileu não adota um procedimento no qual privilegia em alto grau a razão, ele atribui à observação papel quase insignificante. Para ele, “[...] a interpretação que Galileu usa recoloca os sentidos em sua posição de instrumentos de exploração” (FEYERABEND, 2011b, p. 95), entretanto, o operativo é utilizado apenas para o movimento relativo. Enquanto para aquele movimento que é dito compartilhado e, portanto, imperceptível, é chamado não operativo.

É dessa maneira que Feyerabend inicia o alerta sobre a inconsistência de Galileu e acaba dividindo o argumento galileano em duas partes: a primeira acerca da relatividade do movimento; a segunda, da lei inercial. Em primeiro lugar, como abordado no subcapítulo anterior, a concepção dada pelo pensador italiano é de que o movimento em comum é como se não existisse. Em segundo lugar, em uma outra parte do *Diálogo*, adota a ideia de que não é natural que um corpo se mova em linha reta, porque tudo se move em círculos na Terra. Sejam

os corpos celestes, navios ou o movimento das partes dos animais. Sobre isso, Feyerabend afirma:

Ora, se 2) for adotada, então as partes soltas de sistemas movendo-se em linha reta tenderão a descrever trajetórias circulares, contradizendo assim 1). [...] É preciso compreender também, que aceitar a relatividade do movimento para trajetórias inerciais significa abandonar a *teoria do ímpeto*, que provê uma causa (interior) para os movimentos e, portanto, supõe um espaço absoluto no qual essa causa se torna manifesta (FEYERABEND, 2011b, p. 95-96).

Assim, Feyerabend (2011b) defendeu que, além de introduzir uma linguagem observacional nova, Galileu é um propagandista que se utiliza de truques psicológicos, por exemplo: ataque para conquistar o convencimento. Entretanto, salienta que nessa atitude há problemas que obscurecem algumas informações, como o novo comportamento acerca da experiência, o retardamento da filosofia baseada na razão, a fundamentação copernicana ter sido inventada pela fertilidade imaginativa de Galileu que “[...] ao insinuar que os novos resultados que emergem são conhecidos e admitidos por todos e precisam apenas ser trazidos à nossa atenção para que apareçam como a mais óbvia expressão da verdade” (FEYERABEND, 2011b, p. 99).

Além disso, sobre o uso do telescópio como argumentação a favor do copernicanismo, Feyerabend (2011b) asseverou que a atitude de recusar as novas “provas” observadas é perfeitamente racional diante da época que se encontrava. Afinal, além de não existir teoria alguma que pudesse dar conta de explicar o funcionamento de tal instrumento de observação, as lentes eram rudimentares e pouco nítidas, o que favorecia uma certa desconfiança diante da precisão do instrumento, mesmo os corpos celestes sendo formados por um elemento distinto dos corpos terrestres e, portanto, possuindo outras leis físicas. Senso assim, não havia garantia de que o telescópio funcionaria da mesma maneira que na Terra, se fosse direcionado para o céu.

Entretanto, com relação ao fenômeno acerca do brilho de Vênus e Marte, Feyerabend fortaleceu o caráter persuasivo de Galileu, pois “[...] ao utilizar, de forma conjunta, uma teoria refutada empiricamente na (época) e um instrumento sem confiabilidade (na época), Galileu conseguiu aumentar a credibilidade tanto da teoria quanto do instrumento” (ZYLBERSZTAJN, 1988, p. 45). Ainda assim, o comportamento manipulador de Galileu não diminuiu a contribuição e nem o valor de suas ideias. Na verdade, para Feyerabend, o fato de agir *contraindutivamente* acrescentando a habilidade de rearranjar os argumentos de cunho científico, com o caráter manipulador, é o que torna esse personagem especial.

Ainda assim, o pensador italiano não é caracterizado apenas pela maneira descrita por Feyerabend. A versão mais divulgada e popularizada do personagem trata-se de um exímio empirista, no sentido que segue a corrente do positivismo-lógico e, portanto, o método científico. Essa versão galileana presente ainda hoje, deve-se ao fato da informação estar presente nos livros-didáticos. Muitas vezes, apresentando-o como o cientista que rompeu com a maneira dos aristotélicos de fazer ciência ao “descobrir” a física por meio da observação e comprovação experimental (ZYLBERSZTAJN, 1988). Como vimos, no próprio *Diálogo* fica evidente que Galileu muito utilizou o experimento de pensamento, considerando bolas perfeitas, planos completamente lisos e sem resistência do ar. Fato que contraria o aspecto puramente empírico de Galileu e nos leva para uma outra versão, a platônica.

Um dos grandes historiadores das obras de Galileu defende que o próprio, possui essência platônica. Para Alexandre Koyré (1892-1964), a busca pela implementação matemática aos fenômenos naturais é uma evidência de que Galileu buscou o conhecimento por meio da razão, e não da observação. Por influência platônica de conceber o mundo de forma idealizada que Galileu trabalha com uma física ideal, a qual tanto conhecemos hoje. Em razão disso, podemos perceber que a física aristotélica é muita mais intuitiva e relacionada à observação dos fenômenos do que a de Galileu. Acerca desse assunto, Koyré ressalta:

A ciência de Descartes e de Galileu foi, bem entendido, extremamente importante para o engenheiro e o técnico. Afinal, ela provocou uma revolução técnica. Entretanto, não foi criada e desenvolvida por técnicos, mas por teóricos e filósofos [...] A ciência destes não é o produto de engenheiros ou de artesãos, mas de homens cuja obra raramente ultrapassou o domínio da teoria (KOYRÉ, 2011, p. 166).

De acordo com Zylbersztajn (1988), há outra versão conhecida de Galileu que foi apresentada pelo historiador francês Pierre Duhem (1861-1916). Dessa forma, comenta que Galileu apresentou a mesma regra de velocidade média que é discutida pelos filósofos medievais. Também há registros de que Galileu conhecia os autores e suas ideias acerca da cinemática medieval. Ainda que exista a possibilidade de haver movimento sem um agente continuamente causador, Galileu também utilizou a palavra ímpeto como se fosse algo transferido ao corpo que lhe desse movimento.

Por fim, apresentamos algumas versões do modo de agir de Galileu para fundamentar e produzir ciência. A intenção com essa abordagem não é a de escolher o modo correto de agir e nem o modo verdadeiro de como Galileu fazia Ciência, o que também não impede de adotarmos mais de uma faceta galileana. O intuito foi fortalecer a complexidade com que ocorre as mudanças na Física, lembrando que a produção científica é humana e passível de erros e de

confusão. Sendo assim, é possível que Galileu não tenha agido de uma única maneira desde o começo até o final de sua vida.

### 3.6 RENÉ DESCARTES

René Descartes (1596-1650) foi um pensador francês que se dedicou à Filosofia, à Ciência, ao Direito, aos estudos da prática militar e, sobretudo, à Matemática. Além disso, foi o criador do sistema de coordenadas cartesianas usado atualmente (DESCARTES, 2007).

De acordo com Gaukroger (2011), Descartes nasceu no dia 31 de março do ano de 1596 em uma comuna francesa chamada La Haye. Nasceu em uma família de nobre, entretanto quase não teve contato com seus pais porque sua mãe faleceu um ano após seu nascimento por causa de complicações durante o parto. Quanto ao pai, embora vivo, o contato com ele era pequeno porque ele fazia parte do Conselho Parlamentar de Rennes e acabou se mudando para essa cidade, em 1600, quando Descartes tinha apenas quatro anos. Dessa maneira, o jovem foi criado pela avó até os dez anos de idade, quando foi mandado para um famoso colégio de nobres, de origem jesuíta, chamado *La Flèche* (GAUKROGER, 2011).

Embora o colégio tivesse como característica a motivação dos alunos, o processo de educação ocorria de maneira bastante dogmática e classicista. Como o colégio era direcionado para os filhos de nobres, o objetivo da escola era manter os “[...] valores e a capacidade de defendê-los e aplicá-los [...] agir como modelos de bons homens cristãos” (GAUKROGER, 2011, p. 21), principalmente porque esses estudantes ocuparão cargos importantes de poder na sociedade.

Ainda de acordo com Gaukroger (2011), a escola fornecia o estudo de textos clássicos, do latim e do grego durante os cinco primeiros anos. Nos últimos três anos do período escolar, é possível observar, ainda, a forte influência das obras de Aristóteles no currículo de La Flèche, visto que as disciplinas cursadas foram formadas com base nas ideias aristotélicas, como a dialética, filosofia da natureza, matemática, metafísica e ética. É válido ressaltar que os conhecimentos abordados faziam parte de um neo-aristotelismo, o qual tinha “[...] por finalidade a reconstrução do aristotelismo cristianizado a partir dos primeiros princípios [...] [manuais constituintes de] uma orientação tomista” (GAUKROGER, 2011, p. 21), fundado a partir das ideias e críticas à visão de mundo do filósofo grego Aristóteles elaboradas por Tomás de Aquino (1225-1274).

Apesar de toda a educação dogmática e classicista que Descartes recebeu em sua infância, “[...] o interesse filosófico de Descartes se desenvolveu de modo bastante

independente de sua formação escolástica” (GAUKROGER, 2011, p. 21). Um ano após completar seus estudos em La Flèche, iniciou o curso de direito na Universidade de Poitiers, terminando-o em 1616, com vinte anos de idade. Em seguida, mudou completamente de área ao se alistar no exército comandado por Maurício de Nassau (GAUKREGER, 2011). Muito provavelmente, foi nessa época que despertou seu interesse pela parte prática da ciência, afinal entrou em contato com disciplinas práticas e, de alguma maneira, com caráter utilitário, como Arquitetura e Engenharia Militar.

Ao longo da vida, Descartes teve uma forte conexão com um sujeito chamado Isaac Beeckman (1588-1637). Quando se conheceram, Beeckman trabalhava em um campo de intersecção entre a filosofia da natureza e a matemática aplicada, no qual “[...] introduziu uma nova teoria acerca do comportamento dos corpos livres (que mais tarde se tornou uma teoria da inércia)” (GAUKROGER, 2011, p. 21). Esse estudioso influenciou Descartes porque, além de introduzi-lo ao mundo da filosofia microcorpúscular quantitativa, eles discutiam por cartas sobre assuntos como a queda livre dos corpos e problemas acerca da hidrostática. Por exemplo, discutiram acerca de uma problemática presente na queda livre ao tentar entender qual o agente responsável pelo aumento contínuo do movimento (GAUKROGER, 2011).

Descartes se debruça tanto sobre os problemas de hidrostática que, muito provavelmente, essa é a origem do seu desenrolar da filosofia da natureza ao tentar compreender o mundo como uma espécie de mecanismos de fluidos, tais como: as questões óticas e sua cosmologia dos vórtices – combinação ordenada de uma espécie de fluido que causa os movimentos planetários em suas respectivas órbitas.

Já no final do ano de 1619, como aponta Gaukroger (2011), Descartes alterou o seu foco de investigação para a Matemática e estudou a relação entre Aritmética e Geometria, chegando à conclusão de algo mais primordial a estas áreas, o que chamou de Matemática Universal. Ao testar a potencialidade dessa nova Matemática, o pensador francês “[...] suspeitou de que poderia haver uma disciplina ainda mais fundamental, da qual a matemática universal seria apenas uma espécie, uma disciplina geral de solução de problemas subjacentes a toda área de investigação física e matemática” (GAUKROGER, 2011, p. 22). Foi nesse momento que surgiu o *método universal* presente na obra intitulada *Regras para a Direção do Espírito*, trabalho que recebeu atenção entre os anos de 1619 a 1620, com retorno entre 1626 até 1628. A obra foi abandonada em estado inacabado por chegar em uma conclusão onde havia contradição lógica.

Descartes produziu outras obras, a saber: *Discurso do Método* (1637); *Geometria* (1637); *Meditações sobre Filosofia Primeira* (1641), conhecida como *Meditações Metafísicas*;

*Princípios da Filosofia* (1644), *As Paixões da Alma* (1649), *O tratado do Homem* (1632) e *O Mundo ou o Tratado da Luz* (1633). Estas duas últimas tiveram suas publicações suspensas quando Descartes ficou sabendo da condenação imposta a Galileu pela publicação de *O Diálogo*, em 23 de julho de 1633 (GAUKROGER, 2011).

Gaukroger (2011, p. 29) assevera que o pensamento cartesiano é orientado por uma linha filosófica e epistemológica fundamentada pelo ceticismo, que o objetivo dessa nova tendência, conforme a maneira de pensar, é uma tentativa de desconstrução do mundo, sobretudo do “[...] mundo do senso comum e do mundo da filosofia de Aristóteles”.

No livro *Meditações*, podemos perceber esse caráter cético de Descartes, quando começa a duvidar de todas as coisas, tentando encontrar, cognitivamente, algo mais fundamental do qual não se pode duvidar, chegando à conclusão da famosa frase “penso, logo existo”, pois é tão fundamental que não é passível de dúvida.

Também é evidente em sua obra *Princípios da Filosofia* que, durante a busca da verdade, exprime a necessidade de duvidar das coisas. Por exemplo, na primeira parte do livro, Descartes escreve: “I. Para examinar a verdade, é necessário, ao menos uma vez no curso de nossa vida, duvidar, o mais possível, de todas as coisas” (DESCARTES, 2007, p. 25). Ainda, que “II. Há, também, que considerar como falsas tudo aquilo que é duvidoso” (p. 25). Também argumenta a razão pela qual podemos duvidar das coisas sensíveis aos sentidos humanos e explica até mesmo por que é possível duvidar das demonstrações matemáticas (DESCARTES, 2007). Foi, portanto, colocando todas as coisas do mundo em dúvida que Descartes construiu sua filosofia.

### 3.6.1 As Leis da natureza

No livro *Princípios da Filosofia*, publicado em 1644, Descartes apresenta a enunciação e argumentação de duas leis, as quais foram rearranjadas em uma única mais tarde por Newton, passando a ser conhecida como *Princípio de inércia*. Assim como Martins (2012a), usaremos uma denominação mais adequada às ideias de Descartes, chamando o fenômeno de *princípio de conservação do movimento*, uma vez que o termo inercial só seria apresentado pelo pensador inglês nos anos posteriores.

Assim, a primeira lei da natureza, segundo Descartes:

**[...] cada coisa permanece no seu estado se nada o alterar; assim, aquilo que uma vez foi posto em movimento continuará sempre a mover-se.**

Como Deus não está sujeito a mudanças, *agindo sempre* da mesma maneira, podemos chegar ao conhecimento de certas regras a que chamo as leis da natureza, e que são as causas segundas, particulares, dos diversos movimentos que observamos em todos os corpos, e daí a importância dessas leis. A primeira é que cada coisa particular, enquanto simples e indivisa, se conserva o mais possível e nunca muda a não ser por causas externas. Por conseguinte, se vemos que uma parte da matéria é quadrada, ela permanecerá assim se nada vier alterar a sua figura; e se estiver em repouso, nunca se moverá por si mesma. Mas, uma vez posta em andamento, também não podemos pensar que ela possa deixar de se mover com a mesma força enquanto não encontrar nada que atrase ou detenha o seu movimento. De modo que, se um corpo começou a mover-se, devemos concluir que continuará sempre em movimento, e que nunca parará por si próprio” (DESCARTES, 2007, p. 77-78, grifo nosso).

Diante disso, podemos observar que a primeira lei aborda uma certa tendência de um corpo inicialmente em repouso permanecer em repouso e o efeito de um corpo já em movimento ao conservar seu movimento – a exceção seria se uma força ou corpo externo atrapalhasse ou impedisse de continuar a trajetória.

No que se refere aos corpos que sofrem atuação de uma força externa, Descartes (2007, p. 78) discutiu, na preposição XXXVIII, o papel do ar, o qual pode ter a função de retardar o movimento de um projétil, oferecendo resistência que diminui a velocidade de maneira gradual. Concepção que é favorável às críticas medievais, indo contrário à ideia da *antiperistasis* de Aristóteles (ARISTÓTELES, 1952).

Embora Descartes compartilhe da visão medieval de João Filopono (490-570) (ÉVORA, 1988) e Jean Buridan (1300-1358) (MARTINS, 2018), de que o ar tenha apenas a função de atrapalhar, como no deslocamento de uma flecha, ele acrescenta um novo termo ao movimento que será fundamental para que Newton elaborasse sua lei. De acordo com Porto e Porto (2009), esse novo termo foi dado pela palavra em latim *status*, isto é, o estado de repouso e de movimento. Esse termo passa a revolucionar a linha filosófica da concepção movimento, uma vez que mudou completamente a maneira de pensar sobre o assunto.

Mesmo que houvesse diferenciação teórica nos agentes motores do movimento violento entre Aristóteles, Filopono e Buridan, ainda era necessário que houvesse algo que agisse como causa. Para Aristóteles, o que possibilitava o movimento de um corpo após o lançamento era o próprio ar, que agia como agente motor. Para Filopono, existia uma espécie de força motriz incorpórea que era transmitida no momento do lançamento. Por sua vez, pensador parisiense Buridan, acreditava em um ímpeto que era impresso por quem lançava o corpo. Mesmo com as diferentes concepções, o movimento ainda estava contido no modelo aristotélico, no qual o

movimento natural dos corpos corruptíveis era um tipo de mudança que buscava uma finalidade.

Entretanto, para Descartes, o movimento não tinha nenhum tipo de propriedade análoga ao ímpeto de Buridan, ou a força motriz incorpórea de Filopono. O corpo já não possui uma propriedade intrínseca. Segundo Martins (2012a, p. 299), o movimento cartesiano não é mais um tipo de mudança gradual que busca por uma finalidade; o corpo passava a ser a busca um estado. É exatamente por isso que a conservação do movimento, ou a persistência em continuar em repouso, pode ser explicada sem a necessidade de um agente como causa (KOYRÉ, 1965 apud MARTINS, 2012a).

Além disso, Descartes enunciou a segunda lei da natureza, que corresponde a um complemento da primeira. Tratando-se da trajetória do movimento:

XXXIX. A segunda lei da natureza: todo corpo que se move tende a continuar o seu movimento em linha reta. A segunda lei que observo na natureza é que cada parte da matéria, considerada em si mesma, nunca tende a continuar o seu movimento em linha curva, mas sim em linha reta, embora muitas destas partes sejam muitas vezes obrigadas a desviar-se porque encontram outras no caminho, e quando um corpo se move toda a matéria é conjuntamente movida e faz sempre um círculo, ou anel (DESCARTES, 2007, p. 78).

O pensamento de Descartes é contrário à ideia de conservação do movimento circular, defendido por seu amigo Isaac Beeckman (1588-1637) e Galileu Galilei, argumentando que é “[...] evidente que todo o corpo que se move está determinado a mover-se em linha reta e não circularmente” (DESCARTES, 2007, p. 79).

Abandonando o apreço de seu amigo Isaac Beeckman pela conservação do movimento circular, Descartes restringiu essa conservação apenas para trajetórias retilíneas. O artifício que o pensador francês usou para defender sua ideia parte da análise do comportamento de uma funda (ver Figura 9), trata-se de tipo de arma de lançamento feita com tecido, o qual sustenta uma pedra acoplada na extremidade contrária a que se segura a arma.

Pela realização do experimento, Descartes defendeu que em hipótese alguma o corpo tende a continuar seu movimento de maneira circular, porque quando a pedra sai da funda, segue em linha reta. Desse modo, conclui que isso:

[...] claramente nos mostra que qualquer corpo que se move circularmente tende constantemente a afastar-se do centro do círculo que descreve; até o sentimos com a mão quando giramos a pedra na funda porque a pedra estica e estende a corda para se afastar diretamente de nossa mão (DESCARTES, 2007, p. 79).



O pensador francês também apresentou uma nova concepção de matéria e espaço, outro ponto que se diferencia da teoria newtoniana. De acordo com Martins (2012a), provavelmente por influência do pensamento dos gregos e dos medievais, Descartes acreditava que a matéria continha propriedades que eram intrínsecas a ela e que possui essência passiva às atividades externas, isto é, inerte.

[...] a matéria é simplesmente espaço preenchido (não há espaço vazio, para ele) e todas suas propriedades surgem de sua extensão. Ela seria totalmente passiva, sem qualquer princípio ativo. É exatamente por causa da inatividade da matéria que ela não pode mudar, por si própria, o seu estado de repouso ou de movimento, na filosofia cartesiana (MARTINS, 2012a, p. 302).

Essa é outra característica conceitual que se difere da concepção newtoniana. Enquanto para Descartes não havia nenhuma propriedade intrínseca na matéria que influenciasse no movimento, Newton defendia que é por causa de uma propriedade intrínseca e ativa, chamada *força inata da matéria*, que o corpo permanece em estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta (NEWTON, 2012, p. 40).

Ora, mas nenhum pensador presente na história do desenvolvimento da ciência está isento de críticas. Descartes, não é exceção. Assim como a teoria do grande filósofo Aristóteles sofreu duras críticas durante a Idade Média, a concepção de Descartes também sofreu críticas. Martins (2012a) pontuou que o Bispo Horseley (1733-1806), membro da *Royal Society*, criticou duramente o termo *status* usado pelo pensador francês, levantando o questionamento de que a própria palavra entraria em contradição com a condição do corpo em repouso ou movimento, por se tratar de um paradoxo associado à etimologia do termo empregado. O termo *status* teria significado próximo à estável, firme, ficar parado, estacionário. Desse modo, o termo já significa repouso, que sucederia para o “estado de repouso ou movimento”, uma espécie de repouso de repouso, ou repouso de movimento. Diante disso, Martins (2012a, p. 300) concluiu que “[...] o uso da expressão estado de movimento (*status motus*) por Descartes era realmente paradoxal e intrigante”.

Por mais que as enunciações das leis sejam praticamente idênticas às de Newton, existem diferenças, principalmente em relação à fundamentação teológica do conceito, a qual veremos a seguir e que culmina em consequências até os tempos atuais.

### 3.6.2 A Fundamentação Teológica de Descartes

De acordo com Cottingham (2011), o pensador francês René Descartes possui imagens que lhe são atribuídas, dentro das academias inglesas, de maneira a virar alvo de críticas ou de modelo a ser seguido. Pode ser taxado entre as seguintes denominações: racionalista, linguista e naturalista. Embora a intenção de padronização entre uma das três características anteriores, Cottingham comenta que o elemento constante no processo de construção da filosofia cartesiana é esquecido frequentemente pelos pesquisadores, por estarem usualmente preocupados com os problemas da matéria. Esse elemento consiste essencialmente pela presença de Deus, de tal forma que, para Descartes, “[...] a natureza e a existência do divino é algo que está no coração de todo o seu sistema filosófico – algo sem o que ele seria inteiramente irreconhecível” (COTTINGHAM, 2011, p. 284).

Levando essa constatação adiante, qual é o papel de Deus na filosofia de Descartes? Ou mais especificamente, qual a relação de Deus com o movimento e sua conversação? De fato, para o pensador, a existência de Deus é inquestionável e essa necessidade é perceptível ao longo de todo seu trabalho publicado, como no trecho do livro *Princípios da Filosofia*: “XXI. A simples duração da nossa vida é o suficiente para demonstrar a existência de Deus” (DESCARTES, 2007, p.33).

Vários pensadores do passado já dissertaram sobre a origem do universo, embora alguns tenham definido que ele é infinito no tempo, isto é, que não houve começo, assim como defendeu Giordano Bruno (NEVES, 2004) e Aristóteles. Descartes também foi um desses pensadores que contribuiu com a discussão, defendendo que o universo foi originado. Em sua concepção, nota-se que a maneira como o universo foi criado é, também, a maneira como a matéria do mundo foi posta em movimento. Assim, durante a origem do universo “Deus criou a matéria dando-lhe um sopro inicial, colocando-a em movimento” (ROCHA, 2002, p. 92). Portanto, para Descartes:

“XXXVI. **Deus é a primeira causa do movimento e possui a mesma quantidade no universo.** Depois de ter examinado a natureza do movimento, é necessário considerar a sua causa. E porque pode ser dupla, começaremos pela primeira e mais universal, a que produz geralmente todos os movimentos do mundo; a seguir consideremos a outra, a particular, que faz com que cada parte da matéria adquira o que antes não tinha. Quanto à primeira, parece-me evidente que só pode ser Deus, cuja onipotência deu origem à matéria com o seu movimento e repouso das duas partes, conservando agora no universo, pelo seu concurso ordinário, tanto movimento e repouso como quando o criou. Com isso, dado que o movimento não é mais do que um modo na matéria que se move, tem por isso uma certa quantidade de que nunca aumenta nem diminui, se bem que em algumas das suas partes

uma vez haja mais e outras menos. Por conseguinte, quando uma parte da matéria se move duas vezes mais depressa que a outra – sendo esta duas vezes maior do que a primeira –, devemos pensar que há tanto movimento na menor como na maior, e que sempre que o movimento de uma parte diminui, o da outra aumenta proporcionalmente. **Também sabemos que Deus é a perfeição, não só por ser de natureza imutável, mas sobretudo porque age de maneira que nunca muda:** e isso é tão verdade que, excetuando os movimentos e as mutações que vemos no mundo – e nos quais acreditamos porque Deus assim os revelou, e sabemos que se manifestam ou são manifestados na natureza sem que se verifique qualquer mudança no Criador –, não devemos imaginar outros nas Suas obras, sob pena de Lhe atribuímos inconstância. Donde segue que Deus, tendo posto as partes da matéria em movimento de diversas maneiras, manteve-as sempre a todas da mesma maneira e com as mesmas leis que Lhe atribuiu ao criá-las e conserva incessantemente nessa matéria uma quantidade igual de movimento (DESCARTES, 2007, p. 76-77, grifo nosso).

Ora, de acordo com as referências provenientes de trabalhos realizados por pesquisadores da área da Física, da História da Ciência e/ou da Educação em Ensino de Ciências, as contribuições têm indicado que a presença de Deus para Descartes somente existiu no momento da criação do universo. Ainda nesse momento também se originou toda a quantidade de movimento e de repouso dos corpos, e isso se mantém constante na eternidade no tempo pela imutabilidade divina, isto é, pelo fato de que Deus jamais altera o seu modo de agir.

Podemos ver essa vertente interpretativa das obras de Descartes no seguinte trecho:

Descartes acreditava num deísmo no qual Deus criava a matéria e seu movimento **sem nenhuma interferência posterior**. Nada melhor representa esta concepção do que a célebre frase atribuída ao filósofo francês: Dêem-me a matéria e seu movimento e eu construirei o universo (ROCHA, 2002, p. 93, grifo nosso).

Também é possível observar essa perspectiva em um trabalho do Martins (2012b, p. 98-99, grifo nosso):

[...] Descartes tentou imaginar como o universo todo poderia ter se originado e produzido tudo o que conhecemos **sem a intervenção divina**. [...] Ele admitiu a existência de Deus. Mas supôs que Deus apenas precisou criar a matéria e o movimento e que as leis naturais determinaram tudo o que ocorreu depois.

Em uma outra passagem, Martins (2012b, p. 104, grifo nosso) parece reafirmar acerca da presença de Deus apenas na origem o universo:

Ele [Descartes] supõe que a única contribuição **relevante** de Deus ocorreria no início, criando a matéria inicial, que preenche todo o espaço, quebrando-a

e colocando-a em movimento. Todo o restante ocorreria **sem a intervenção divina**, como consequência apenas das leis naturais.

As três passagens anteriores nos levam a crer que Descartes realmente não acreditava na intervenção divina após a criação do universo e de seu movimento. Também é possível, pelo emprego do termo relevante, que Martins (2012b) tenha considerado importante apenas a criação de Deus e que, talvez, a relação do Deus cartesiano com universo, após sua criação, tenha pouco valor. Cogitamos essa possibilidade pelo seguinte trecho:

[...] as leis do movimento de Descartes são devidas à **atividade conservadora** de Deus, que dá aos corpos uma certa quantidade de movimento quando os cria, e **preserva esse movimento como parte de sua atividade conservadora** geral. Assim, **Descartes não pensava que o movimento é preservado por alguma coisa inerente ao corpo que se move, mas apenas pela imutabilidade divina** (MARTINS, 2012a, p. 297, grifo nosso).

Analisando o trecho destacado, é possível compreender as dúvidas geradas pelas passagens anteriores de Martins, considerando a atuação contínua de Deus de menor valor. Afinal, o estudioso defende que o movimento é preservado pela maneira imutável de como Deus age sobre o mundo, isto é, ele continua agindo sobre o mundo da maneira de sempre, e isso faz com que o movimento se preserve. Essa citação também é uma comparação com a ideia newtoniana de que o movimento é preservado por uma espécie de força inata da matéria, a vis ínsita (MARTINS, 2012a).

Em contrapartida, os pesquisadores da área da Filosofia mostraram mais interesse ao considerar a atuação divina pós-origem do universo. Em Cottingham (2011), por exemplo, passa a existir a presença contínua e de forma ativa de Deus sobre o universo. Mesmo que de maneira geral, como abordamos anteriormente, os aspectos teológicos das concepções de Descartes são postos de lado à publicação de suas obras, inclusive por razões de considerar a teologia como uma “[...] consequência embaraçosa da concepção medieval de mundo que ainda condiciona o modo como Descartes foi formado” (COTTINGHAM, 2011, p. 285).

Portanto, se o Deus cartesiano não atua somente no momento da criação, de que forma ele age no universo? Qual sua função? Descartes, colocando a realidade em dúvida, chega à conclusão da própria existência por meio de sua máxima *cogito ergo sum* (penso, logo existo). Essa constatação do conhecimento, “[...] é o primeiro e mais certo que se apresenta àquele que filosofa ordenadamente” (DESCARTES, 2007, p. 27). Embora o pensador francês acredite na veracidade dessa conclusão, ele questiona “[...] a natureza temporária e frágil de sua autoconsciência” (COTTINGHAM, 2011, p. 286). É discutindo sobre essa fragilidade que aparece uma pequena passagem, contida no livro *Meditações metafísicas* de Descartes, que

fornece dados que parecem completar a ideia acerca do papel de Deus sobre o universo, justificando a conservação do movimento linear de um corpo pela constante ação divina. O trecho referente a isso pode ser visto no item 33 e 34, no final do capítulo “meditação terceira”:

33. E ainda que possa supor que talvez tenha sido sempre como sou agora, nem por isso poderia evitar a força desse raciocínio, e não deixo de conhecer que é necessário que Deus seja o autor de minha existência. Pois todo o tempo de minha vida pode ser dividido em uma infinidade de partes, cada uma das quais não depende de maneira alguma das outras; **e assim do fato de ter sido um pouco antes não se segue que eu deva ser atualmente, a não ser que neste momento alguma causa me produza e me crie, por assim dizer, novamente, isto é, me conserve.** 34. Com efeito, é uma coisa muito clara e muito evidente (para todos os que considerarem com atenção a natureza do tempo) que uma substância, para ser conservada em todos os momentos de sua duração, **precisa do mesmo poder e da mesma ação, que seria necessário para produzi-la e cria-la de novo, caso não existisse ainda.** De sorte que a luz natural nos mostra claramente que **a conservação e a criação não diferem** senão com respeito à nossa maneira de pensar, e não em efeito (DESCARTES, 1983, p. 110, grifo nosso).

Dessa maneira, podemos perceber que, para Descartes, a conservação é uma espécie de criação constante que se dá pelo poder de Deus. Isso demonstra a interação divina e necessária para que algo se conserve. Analogamente ao movimento, podemos concluir que o poder de Deus agindo de maneira constante é a causa das leis da natureza estabelecidas pelo filósofo francês. Sendo assim, trata-se do princípio de conservação do movimento linear, uma consequência da atuação direta e constante de Deus, que podemos chamar de imutabilidade divina.

À vista dessa informação fornecida pelas *Meditações*, e se nossa análise for coerente, a atuação de Deus no universo cartesiano é de extrema importância, porque explica a razão pela qual os corpos conservam seu movimento em trajetória retilínea, mesmo que por uma perspectiva teológica, e não mecanicista. Desse modo, indo contra à ideia de intervenção apenas no momento de origem do mundo, o princípio de conservação do movimento dado pela enunciação das duas leis da natureza agora deixa de ocorrer simplesmente porque Deus quis e passa a ser porque Deus quer, no presente.

### 3.7 ISAAC NEWTON

Isaac Newton (1642-1727) nasceu no Natal de 1642, na aldeia de Woolsthorpe, situada no condado de Lincolnshire, na Inglaterra. Foi um bebê prematuro e “tão pequeno que ninguém esperava que sobrevivesse” (WESTFALL, 1995, p. 7). Embora a família de Newton tivera

condições econômicas mais que suficientes para que ele usufruísse de boa formação, ela decorria de uma linhagem pouco instruída. Newton era órfão de pai, sua mãe, Hannah Ayscough Newton, casou-se com o pastor protestante Barnabas Smith. O padrasto do pequeno Newton não o acolheu, sendo abandonado aos dois anos de idade. Assim, foi criado na casa da avó até que atingisse o começo de sua adolescência. Sobre esse período, Westfall registra:

Não obstante, a meninice de Isaac parece ter sido solitária. Ele não estabeleceu, com nenhum dos numerosos parentes, laços que possam ser rastreados em épocas posteriores de sua vida. A infância solitária foi o primeiro capítulo de uma longa carreira de isolamento (WESTFALL, 1995, p. 11).

O padrasto morreu, e Hannah voltou para Woolsthorpe, levando Newton, com os completos doze anos, a iniciar seus estudos no colégio de Grantham, momento em que o menino era alojado na casa do sr. Clark. Sujeito de profissão boticária (farmacêutico na época) que emprestou a Newton os primeiros materiais de Física e Matemática.

Quando próximo de completar os dezessete anos, o pensador inglês foi obrigado a retornar à propriedade rural da família para aprender a trabalhar. Entretanto, o garoto possuía um descontentamento enorme pelos trabalhos rurais e, dispersando de suas obrigações, criava brinquedos e estruturas mecânicas alternativas para rodas hidráulicas (RODRIGUES, 1988). O tio de Newton reconheceu seu desgosto e inquietação pelos afazeres rurais e conseguiu convencer Hannah a aceitar os interesses reais do garoto. Em função disso, foi mandado para Grantham, onde teria mais dois anos de estudo.

Em 1661, Newton entrou para o colégio *Trinity College*, em Cambridge. Nessa época, as obras que mais influenciavam a linha de educação da instituição eram dadas pelos pensadores René Descartes, Francis Bacon (1561-1626), Robert Boyle (1627-1691) e Henry More (1614-1687). Assim, Newton estudou Física, Matemática, Geometria cartesiana, Ótica e Aritmética dos infinitos de Wallis.

De acordo com Rodrigues (1988), Newton conquistou seu primeiro título acadêmico em 1665, mesmo ano de publicação do livro intitulado *Micrographia*, de seu “inimigo” Robert Hook (1635-1703). Foi também nessa época que a peste bubônica entrou em estado de epidemia, e Newton se viu obrigado a voltar para a propriedade em Woolsthorpe. Assim permaneceu até o ano de 1666. Durante esse período de isolamento na propriedade de sua mãe, Newton constituiu forma para o que serve de pilar fundamental das teorias reconhecidas como: cálculo diferencial e integral, gravitação universal e teoria da luz e das cores. Além disso, deu início ao estudo hermético do campo da alquimia.

É nessa época que se inicia o seu esforço para superar o cartesianismo, que vulnerava dois aspectos de sua filosofia: sua visão teológica e a nítida distinção entre espaço e matéria. É ainda nesse período que ensaia a primeira comparação entre a atração cósmica e a gravidade terrestre, a primeira síntese de Kepler e Galileu (RODRIGUES, 1988, p. 44-45).

Sendo assim, o conhecido episódio que conduziu a criação de todas as leis físicas e ao cálculo infinitesimal, por meio da observação da queda de uma maçã, embora muito provavelmente seja um evento que nunca tenha acontecido, é associado à essa época (MARTINS, 2006). Na realidade, o que o pensador inglês elaborou durante esses dois anos foi uma base bem consolidada daquilo que abrangeria múltiplos assuntos. De acordo com Westfall (1995), esse período ficou conhecido como *annus mirabilis* (anos miraculosos).

É necessário ressaltar, entretanto, que mesmo anteriormente à necessidade do êxodo para a fazenda em Woolsthorpe, Newton havia conquistado ciência das compreensões filosóficas de inúmeros pensadores, desde os mais antigos até os mais modernos. Diante disso, queremos deixar o mais claro possível que Newton não criou as teorias como quem tem uma espécie de *insight* intelectual ausente de conhecimento anterior. Assim, torna-se importante mostrar que o pensador tinha certa obsessão, dedicação e comprometimento com o desenvolvimento de suas ideias, isto é, suas ideias não são oriundas de uma mente exclusivamente formada de genialidade. Esse personagem foi composto, também, por uma personalidade extremamente curiosa e que não mede as consequências durante o processo de compreensão do mundo.

Podemos constatar essa personalidade em um evento que quase deixou Newton sem visão. Por uma espécie de obsessão, observou o Sol durante longos períodos sem proteção, acarretando em uma visão temporariamente danificada. De acordo com Westfall (1995, 29):

Depois disso, Newton deixou o Sol em paz, mas não os olhos. Mais ou menos um ano depois, quando estava elaborando sua teoria das cores, enfiou um estilete ‘entre meu olho e o osso, até o mais próximo da parte posterior do olho quanto pude chegar’, afim de alterar a curvatura da retina e observar os círculos coloridos que surgiam, à medida que ele fazia pressão. Como ele não ficou cego? Dominado pela ânsia da descoberta, Newton não parava para avaliar o preço a pagar.

Depois do *annus mirabilis* e logo após seu retorno a Cambridge, Newton foi nomeado como titular da *Lucasian Chair* de Matemática, por Isaac Barrow, no ano de 1669. Quando Newton tentou ser inserido na *Royal Society*, após três anos da titulação à cadeira lucasiana, foi iniciado um confronto contra Hooke acerca dos trabalhos relacionados à ótica. Durante muitos anos o confronto continuou a existir e alguns episódios fizeram com ele fosse revigorado, como

a acusação feita por Hooke, incriminando Newton de ter cometido plágio ao copiar partes do pensamento de Leibniz acerca do cálculo diferencial.

Dessa rivalidade, surgiu uma célebre expressão que geralmente é interpretada como original de Newton:

Aquilo que Des-Cartes [sic] fez foi um bom passo. Você adicionou muito, de vários modos, e especialmente tomando para considerações filosóficas as cores de lâminas. Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes – carta de Newton para Hooke, 5 de fevereiro de 1676 (TURNBULL, 1959, p. 416 apud MARTINS, 2012a, p. 295).

De acordo com Martins (2012a), a expressão já era bastante conhecida e utilizada na Idade Medieval. Martins alerta que, provavelmente, Newton teria usado a expressão de maneira irônica. Um dos motivos para se crer nessa possibilidade se dá pelo fato de que a relação de Newton para com Hooke era de desrespeito. Além disso, conforme Rodrigues (1988, p. 51), durante a vida “Newton se apresenta muitas vezes como arrogante, vingativo, competitivo e instável, ao mesmo tempo retraído e compenetrado”.

Newton não se dedicou somente ao estudo de Física e Matemática. Estudou também textos religiosos, de alquimia, ocultismo e história. De acordo com Rodrigues (1988), a alquimia era considerada uma ciência que combinava a fé a uma sistemática tentativa de reproduzir os metais provenientes da natureza em laboratório. Dentro da concepção de alquimia, podemos observar uma característica que concebe os metais de uma forma viva, uma espécie de animismo inserido nos corpos inanimados:

[...] nossos remotos antepassados, viam uma embriologia metálica, inventavam e acreditavam que os metais cresciam como embriões no ventre da Terra, que os alimentava semelhante às sementes de plantas. Os metais atingiam sua maturidade ao se tornarem ouro, processo de transformação que, realizado na terra levava centenas ou milhares de séculos (RODRIGUES, 1988, p. 26).

A importância da alquimia se deve ao fato de ter sido uma estrutura de pensamento que possivelmente influenciou as ideias de Newton. Mais à frente, notaremos que a inércia, da maneira como é estabelecida por Newton, possui um princípio ativo que é intrínseco ao material. Uma condição natural que parece dar uma animosidade à matéria.

Diante disso, a estrutura que forma a base da alquimia é fundamentada em três tipos diferentes, a saber: a alexandrina (também conhecida como helenística), a chinesa e a árabe. A alquimia alexandrina possui três momentos, contando com seu ápice no final do século III da E. C., tendo vestígios de origem grega por parte dos estoicos e dos neopitagóricos. O enfoque

da alquimia helenística consiste em uma prática mística de tratamento à matéria (metais) como ser vivo, em um processo de mixagem decorrente da magia e astrologia.

Enquanto isso, acredita-se que a alquimia chinesa foi criada de maneira independente das outras e está relacionada com a busca pelo equilíbrio entre o indivíduo enquanto ser com o restante das coisas do mundo, estabelecendo uma relação de proximidade com a filosofia do Taoísmo. No século X, o estudo da alquimia chinesa passou por um processo sociocultural que a fez ser descontinuada.

Em contrapartida, a formação da alquimia árabe se dá pela combinação da alquimia helenística e da chinesa. Esta última, em determinado momento, foi inserida na cultura arábica e inovada por seus conterrâneos. A alquimia árabe, então, acaba se tornando assunto de interesse por toda a Europa. É a partir dessa expansão que Newton toma conhecimento e se interessa pela arte alquímica:

Dobbs centra a sua análise na perspectiva de que o interesse de Newton em alquimia, não era desvinculado do contexto geral das ideias de sua época. O Hermetismo e a Alquimia eram, desde o século XII, uma fonte de interesse geral, que nos séculos XVI e XVII ganham uma maior importância pela intensa divulgação (RODRIGUES, 1988, p. 40).

Diante disso, abordamos algumas questões tentando mostrar uma maior proximidade com a realidade, reforçando a ideia de que Newton não criou nada instantaneamente, sem estudo aprofundado. Não desacreditamos da genialidade de Newton, todavia, por mais genioso e hábil que seja, sua história é carregada de uma feroz dedicação, sustentada com privilégio financeiro.

### 3.7.1 O Princípio de Inércia

Até o presente momento, atravessamos um longo período dissertando acerca da conservação do movimento que precederam a Lei da Inércia apresentada por Isaac Newton, em sua obra intitulada *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, de 1686, publicada pela primeira vez em latim.

Antes da apresentação das famosas três leis, Newton descreveu em seu livro algumas definições pertinentes, as quais iremos apresentar aqui, uma vez que elas ajudam a compreender a lei que descreve o princípio de inércia de forma mais profunda. Lembrando que as definições das leis não serão apenas enunciadas, mas também explicadas, semelhantemente à maneira como Descartes expôs em seu livro *Princípios da Filosofia*.

Iniciando pela terceira definição – pois a primeira e segunda não é interessante para este trabalho – temos:

Definição III: A *vis insita*, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha reta (NEWTON, 2012, p. 40).

Essa definição mostra que Newton concebe a matéria como possuidora de uma espécie de força que lhe é própria, age de maneira diversa e em resposta ao meio externo. Conceber a matéria de forma que ela possua propriedades internas como princípios ativos vem, provavelmente, da influência da alquimia e do neoplatonismo. Veremos que essa característica se intensifica no momento de explicação da própria definição:

A partir da natureza inerte da matéria, um corpo não tem seu estado de repouso ou movimento facilmente alterado. Nesse sentido, essa *vis insita* pode, por um nome mais apropriado, ser chamado de *inércia* (*vis inertiae*) ou força de inatividade. Mas um corpo só exerce essa força quando outra força, imprimida sobre ele, procura mudar sua condição; e o exercício dessa força pode ser considerado tanto como resistência quanto como impulso; resistência na medida em que, para conservar seu estado, o corpo opõe-se à força imprimida; e impulso na medida em que o corpo, não cedendo facilmente à força imprimida por um outro, esforça-se para mudar o estado deste outro corpo. Resistência é normalmente atribuída a corpos em repouso, e o impulso àqueles em movimento; **mas movimento e repouso, como vulgarmente concebidos, diferem apenas relativamente um do outro; nem esses corpos estão sempre verdadeiramente em repouso, como vulgarmente são considerados** (NEWTON, 2012, p. 40, grifo nosso).

Essa passagem revela algumas informações importantes, mas adiaremos a discussão porque, antes, devemos entender qual o significado que Newton concebe para força imprimida, uma vez que também foi um termo utilizado na citação anterior.

Definição IV: uma força imprimida é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso, seja de movimento uniforme em uma linha reta. [Inserindo a explicação Newtoniana] *Essa força consiste apenas na ação, e não permanece no corpo quando termina a ação. Pois um corpo mantém todo novo estado que ele adquire, somente por sua inércia.* Mas as forças imprimidas têm origens diferentes, tais como percussão, de pressão e de força centrípeta (NEWTON, 2012, p. 41, grifo nosso).

Como a nova definição, é possível entender melhor sobre o movimento newtoniano do que a simples enunciação da lei inercial que aparece nos livros didáticos, ou que aparece frequentemente nas concepções alternativas dos alunos. Nota-se, portanto, pelo trecho em negrito, que não é necessária uma força continuamente sendo executada no corpo para que ele

permaneça em movimento. Além disso, fica explícito que a continuidade do movimento é dada pelo fator inercial.

Ainda acerca dos grifos da explicação da definição III, vemos claramente que Newton chama a inércia de um tipo específico de força, no caso, a força inata da matéria. Diante disso, por mais que a enunciação newtoniana da lei inercial nos forneça uma compreensão de que a inércia é um fenômeno, um efeito ou uma tendência do corpo em permanecer no seu estado, Newton começou a formar uma estrutura do que é inércia e a razão pela qual a conservação do movimento deve acontecer.

Também podemos perceber que Newton fala sobre a relatividade entre os estados de repouso e de movimento, sugerindo que não necessariamente o corpo em movimento está em movimento de fato, assim como um corpo em repouso está verdadeiramente em repouso. Newton buscou responder ao questionamento “Como saber se um corpo está verdadeiramente em repouso ou movimento?” por meio de um outro termo denominado espaço absoluto.

Para darmos continuidade, vamos à enunciação da lei:

Lei I – Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele (NEWTON, 2012, p. 53).

Primeiramente, é válido comentar sobre a tradução da citação, na qual se usa o verbo *continuar*, porém, no artigo intitulado *Estado de Repouso e Estado de Movimento: uma revolução conceitual de Descartes*, Martins (2012a) utiliza uma tradução mais coerente com o verbo “perseverar”, que vem da palavra original em latim *perseverare*. Esta palavra, *perseverar*, fornece uma coerência mais próxima a concepção do próprio Newton, uma vez que contém um sentido mais perto de uma espécie de animosidade do material, de alma dos objetos inanimados.

Outra característica terminológica que podemos observar é o emprego da palavra *status* (estado), mantida desde Descartes, há uma semelhança muito grande com o pensador francês. Partindo da própria enunciação, a primeira lei de Newton é praticamente idêntica às Leis da natureza de Descartes. Essas semelhanças são decorrentes do fato de que Newton se inspirou de maneira muito intensa nas concepções cartesianas.

De acordo com Martins (2012a), Newton estudou os *Philosophiae Principia* no ano de 1664 e, um ano depois, “[...] o jovem estudante preencheu mais de dez páginas do seu caderno de anotações [...] com seus pensamentos a respeito das leis do movimento, tomando como ponto de partida, as *leis da natureza cartesiana*” (MARTINS, 2012a, p. 293).

Outro detalhe curioso é que Newton, assim como Descartes, também utilizou a mesma expressão para falar sobre a conservação do movimento. Descartes usa no *Princípio da*

*Filosofia* o termo *quantum in se est* (tanto quanto lhe é possível). De acordo com a pesquisa realizada, Martins (2012a) comentou que, embora a expressão tivesse uma frequente utilização no século XVII, aponta que, muito provavelmente, tenha sido copiada de Descartes (MARTINS, 2012a).

Newton também abraçou a relatividade do repouso e do movimento estabelecido por Descartes e, anteriormente, por Galileu. Conforme visto neste trabalho, Newton acreditava em um estado de movimento relacionado com outro estado. Ainda assim, ele propôs um estado absoluto, no qual seria possível saber se o determinado estado do corpo está verdadeiramente em movimento ou em repouso. É nessa perceptiva que entra a ideia de espaço absoluto (MARTINS, 2012a). Esse espaço absoluto seria um referencial perfeito que sempre estaria em repouso em relação as coisas do universo, essa concepção tem uma forte relação metafísica e, de acordo com Martins (2012a), podemos considerá-la como sendo a presença de um Deus newtoniano exercendo influência sobre os corpos materiais.

II – O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem relação com qualquer coisa externa permanece sempre similar e imóvel. Espaço relativo é alguma dimensão ou medida móvel dos espaços absolutos, a qual nossos sentidos determinam por sua posição com relação aos corpos, e é comumente tomado por espaço imóvel; assim é a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste, determinado pela sua posição com relação à Terra. Espaços absolutos e relativos são os mesmos em configuração e magnitude, mas não permanecem numericamente iguais. Pois, por exemplo, se a Terra se move, um espaço de nosso ar, o qual relativamente à Terra permanece sempre o mesmo, será em algum momento parte do espaço absoluto pelo qual o ar passa; em um outro momento será outra parte do mesmo, e assim, com certeza, estará continuamente mudando (NEWTON, 2012, p. 45).

Diante disso, também podemos apontar mais uma diferença, agora teológica, da concepção cartesiana. Embora Martins (2012a) tenha apontado para um deus cartesiano que só influencia no momento da criação do universo, como abordamos neste trabalho, acreditamos que, para Descartes, Deus exerce a função de conservar o movimento, pois a conservação é em si um ato de recriação incessante. Para Newton, entretanto, podemos conceber o papel de Deus como sendo o próprio espaço absoluto que, de tempos em tempos, como uma espécie de relógio, apareceria para dar corda ao universo, ou seja, Deus é um ser de influência no “presente”, mesmo que de modo intermitente. Martins (2012a, p. 302) pontuou que essa concepção teológica de Newton corroborou com a aceitação dinâmica do espaço absoluto:

Como a concepção de movimento de Newton é completamente diferente da de Descartes, poderia haver uma diferença dinâmica entre repouso e movimento. Em princípio, poderia existir inércia no sentido de uma resistência

ao movimento, sem uma tendência correspondente de manter o movimento dos corpos. Por isso, ao contrário de Descartes, Newton precisava de uma explicação para o movimento uniforme dos corpos que não estão sujeitos a forças externas. E foi por isso, que ele continuou a manter, em seu pensamento dinâmico, um conceito semelhante ao do ímpeto, atribuindo poderes ativos à matéria e interpretando a inércia como uma força interna.

Diante de toda essa complexidade na formulação da Lei da inércia, sentimos a necessidade de comparar as ideias de Newton com as concepções dos pensadores parisienses medievais. Afinal, “[...] mesmo depois de adotar as ideias de Descartes, Newton continuou a pensar sobre uma força interna nos corpos, aparentemente sem perceber que isso era incompatível com a conceituação de Descartes” (MARTINS, 2012a, p. 294). Assim, concebendo a matéria constituída com uma propriedade que é ativada, criando uma espécie de força quando se tenta mudar o estado do corpo, podemos associar a lei inercial com uma espécie de ímpeto que é acionado, a causa pela qual o movimento se mantém. Sobre essa força de inércia, é pertinente acrescentarmos o comentário de Jammer (1979, p. 132 apud NEVES, 2000, p. 551, grifo do autor):

O termo “força” (*vis*) aparece pela primeira vez na Definição III da *opus Magnum* de Newton: “*Materiae vis insita est potentia resistendi, Qua corpus unumquodque, quantum in se est, perseverat in statusuo vel quiescendi vel movendi uniformiter in directum*” ... A natureza inerte da matéria é aqui concebida como uma força de inatividade. Segundo a opinião de Newton, a inércia é um certo tipo de força interna (insita) à matéria, cuja força impressa ao corpo não “tente modificar a sua condição”. Essa pode ser considerada seja como resistência seja como impulso. O mesmo Newton admite: “o exercício dessa força pode ser considerado tanto como resistência quanto como impulso; resistência na medida em que, para conservar seu estado, o corpo opõe-se à força impressa; e impulso na medida em que o corpo, não cedendo facilmente à força impressa por um outro, esforça-se para mudar o estado deste corpo”. Trata-se de resistência se o corpo está em repouso, de impulso se está em movimento [...] Então, como era possível para Newton, chamar “força” a qualidade da inércia?

Jammer responde à questão feita no trecho acima de forma insinuativa, afirmando que a teoria de Newton, por mais bem elaborada e completa que seja, ainda fazia parte de uma “[...] transição entre a velha física aristotélica e a não distante física dos nominalistas parisienses e da cinemática galileana” (NEVES, 2000, p. 551).

#### 4 UMA BREVE APRESENTAÇÃO SOBRE AS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DA DINÂMICA ELEMENTAR

Neste capítulo, mostraremos as concepções alternativas que emergem dos alunos de maneira intuitiva e pouco sistematizada, realizando, sempre que conveniente, uma retomada das teorias elaboradas pelos pensadores de outrora.

De acordo com Gomes (2008, p. 14), “[...] o interesse pelos conhecimentos prévios dos estudantes começou junto com o construtivismo, em 1919 [...]”, momento no qual o psicólogo suíço Jean Piaget (1896-1980), convidado por um laboratório, acabou “[...] auxiliando na investigação do desenvolvimento intelectual da criança” (p. 14). Dessa maneira, o conjunto de obras realizadas pelo estudo de Piaget durante os anos se torna relevante para o Ensino. Ainda de acordo com Gomes (2008), os pesquisadores em Ensino de Ciências, como Vienott e Clement, aproveitam desse estudo para investigar as concepções alternativas<sup>39</sup> sobre força e movimento, como veremos mais adiante, sobretudo o que diz respeito ao conceito de Princípio de Inércia.

Para atingirmos nosso objetivo, preocupamo-nos em discutir as pesquisas sobre concepções alternativas que foram bastante presente na década de 70 e 80, visto que a época foi marcada pelo grande interesse, por parte dos investigadores do Ensino de Ciências, em entender como o aluno percebia o mundo anteriormente às aulas (NARDI; GATTI 2005), percepção de mundo que chamamos de concepções alternativas. Apresentaremos e discutiremos tais pesquisas conforme a ordem cronológica e com finalidade de fundamentar a problemática do trabalho. Mostrando, assim, o ponto de partida para a presente pesquisa e, também, justificando sua necessidade.

Como nosso tema de pesquisa é o Princípio de Inércia, constatamos que as concepções que serão aqui apresentadas dizem respeito aos conceitos de força e movimento, isto é, fenômenos físicos inteiramente relacionados ao tema geral da pesquisa.

---

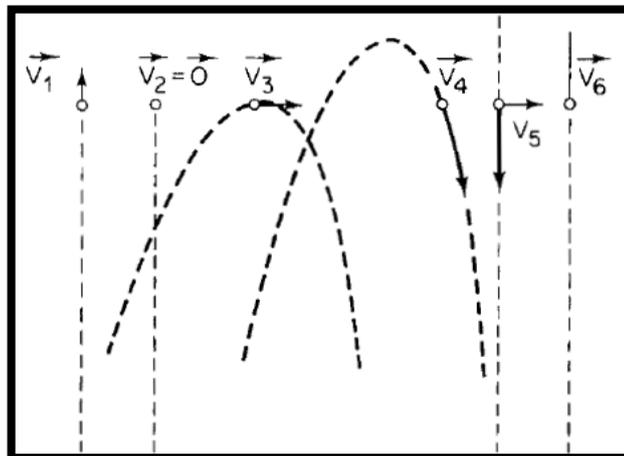
<sup>39</sup> De acordo com Gomes (2008) o termo recebeu várias denominações ao longo dos anos e, contudo, a expressão “concepções alternativas” foi melhor adotada após as críticas feitas por Driver e Easley (1978). O termo pode ter outras variações em inglês, por exemplo: *misconceptions*, *misunderstandings*, *alternative frameworks*, *alternative conceptions*, *children’s science*, *raisonnement naturel*, *spontaneous reasoning* (ZYLBERSZTAJN, 1983). Em português: senso ou ideia intuitiva e conhecimento prévio.

#### 4.1 LAURENCE VIENNOT

Laurence Viennot é uma pesquisadora francesa cujo trabalho de 1979, intitulado *Concepções espontâneas na dinâmica elementar*<sup>40</sup>, foi adotado para dar suporte à nossa pesquisa. O objetivo desse estudo foi “[...] tentar entender como os estudantes realmente pensam sobre algumas situações específicas, descrever e formular aquela maneira de pensar” (VIENNOT, 1979, p. 205, tradução nossa)<sup>41</sup>. Com base nisso, o assunto do artigo trata da relação entre força, energia e movimento. Além disso, a pesquisa chama atenção pela grande quantidade de sujeitos participantes, contou com 709 alunos de diferentes nacionalidades (ingleses, belgos e franceses) desde o último ano do Ensino Fundamental até o terceiro ano do Ensino Superior.

De acordo com a pesquisa, foram utilizados testes conceituais com perguntas que priorizavam conceitos, portanto, sem a complexidade da matemática, o aluno usava papel e caneta durante os testes que tinham a duração aproximada entre vinte e trinta minutos cada. Assim, o primeiro teste corresponde à “Força de interação e a ação contínua da força” (1979, p. 206, tradução nossa)<sup>42</sup>, exemplificada a seguir.

Figura 10 – Questão de lançamento oblíquo aplicada por Viennot.



Fonte: Viennot (1979, p. 206).

Essa primeira questão se trata de uma imagem representativa de objetos que foram lançados de maneira vertical e oblíqua, com velocidades e sentidos diferentes, os quais chamaremos de  $O_1$  à  $O_6$  (objetos entre 1 a 6) e que correspondem às velocidades  $\vec{V}_1$  à  $\vec{V}_6$ . Em

<sup>40</sup> Tradução nossa. Título original: *Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics*.

<sup>41</sup> No original: “[...] to attempt to understand how students actually think about some specific situations, and to describe and formulated that thinking”.

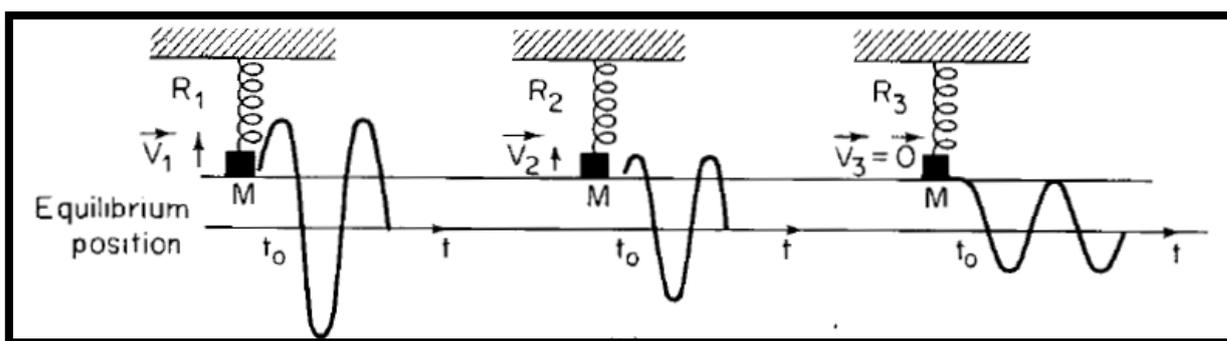
<sup>42</sup> No original: “Force of interaction and ‘supply of force”.

$O_1$ , notamos que a velocidade está presente e para cima, portanto, esse objeto se desloca para cima com uma certa velocidade  $\vec{V}_1$ . Para  $O_2$ , a velocidade do objeto lançado verticalmente para cima decresce até observamos uma mudança no sentido do movimento que, conforme ilustrado da Figura 10, está no momento de inversão, portanto, com velocidade  $\vec{V}_2 = 0$ . De maneira similar, a imagem também representa o movimento dos objetos restantes.

A segunda questão, apesar de trabalhar com objetos diferentes da primeira, representa a mesma questão conceitual diferenciando apenas em seu modelo. Assim, há três corpos com massas iguais que estão suspensas no teto e oscilam nas extremidades de molas verticais em uma mesma altura.

A pergunta feita para ambas as questões é se as forças atuando nos seis objetos da Figura 10 ou das três massas da Figura 11 são idênticas ou diferentes (se possuem a mesma natureza) no instante em que aparecem, levando em conta que a resistência do ar deve ser desprezada.

Figura 11 – Questão massa-mola aplicada por Viennot.



Fonte: Viennot (1979, p. 206).

Os resultados apresentados na Tabela 1 evidenciam que as respostas não são tão óbvias quanto parecem. Juntando a resposta da primeira e da segunda questão, aparece que aproximadamente apenas 50,4% dos 709 alunos harmonizaram com a teoria newtoniana, notando que apenas 4,6% não responderam à pergunta. Assim, Viennot (1979, p. 207, tradução nossa)<sup>43</sup> aponta uma possível consequência como sendo “[...] uma ‘lei’ intuitiva na qual pode ser expressa como uma relação pseudo-linear entre força e velocidade,  $F = \alpha v$ ”. Em nossa percepção, consideramos essa consequência como sendo uma concepção aristotélica de que só há movimento enquanto há força interagindo com o corpo, uma concepção medieval em que é fornecido uma espécie de *impetus* como uma espécie de força – usando uma linguagem mais

<sup>43</sup> Integralmente no original: “These and similar experiments suggest that, for many students, there is an intuitive ‘law’ which can be expressed as a pseudo-linear relation between force and velocity,  $F = \alpha v$ , as follows:”.

moderna – que é transmitida ao corpo e que continua agindo para que o movimento possa existir. Em ambos os casos, há uma interação contínua de “forças”.

Tabela 1 – Imagem da tabela acerca dos resultados dos testes aplicados por Viennot.

NÚMERO DE ESTUDANTES	QUESTÃO	ANO ESCOLAR DOS ESTUDANTES	AS FORÇAS SÃO		
			Iguais	Diferentes	Não responderam
29	Lançamento oblíquo	Último A.G.	39%	55%	6%
36		1° A.G.	58%	42%	0%
226		1° A.G. (Bélgica)	44%	54%	2%
20	Massa-mola	1° A.G.	70%	30%	0%
95		2° A.G.	48%	40%	12%
49		3° A.G.	37%	55%	8%
14		Último A.E.M. (Inglaterra)	64%	36%	0%
14		1° A.G. (Inglaterra)	57%	43%	0%
226		1° A.G. (Bélgica)	37%	49%	14%
<b>A.G.: ano da graduação</b> <b>A.E.M.: ano do Ensino Médio</b>					

*Fonte: adaptada de Viennot (1979, p. 207).*

De maneira semelhante ao primeiro teste acerca da força de interação e a ação contínua da força, Viennot (1979) continuou sua investigação com o segundo e terceiro tema, respectivamente como Força Centrífuga e Concepção ‘Local’ ou ‘Global’, mas essas questões não fazem parte do foco de nossa pesquisa.

Viennot (1979) postulou que boa parte das concepções espontâneas – termo que a pesquisadora francesa utiliza – se aproximam das concepções de pensadores que existiram durante a história. Além disso, concluiu que, muitas vezes, mesmo que a concepção se mostre próxima à de Aristóteles, por exigir presença de força durante o movimento, ela ainda “[...] é

muito mais próxima à teoria do *impetus* [medieval de Buridan] à de Aristóteles [...]” e que esse esquema intuitivo, apesar de poder parecer primitivo, “[...] vai muito mais longe e além do pensamento de uma jovem criança” (VIENNOT, 1979, p. 213, tradução nossa)<sup>44</sup>. Ainda de acordo com Viennot, mesmo usando essa concepção, é empregada sem contradição para a maioria dos fenômenos que ocorrem em nosso cotidiano.

A autora não deixa claro a razão pela qual acredita que a concepção dos alunos se aproxima mais das ideias de Buridan em vez de Aristóteles. Ainda assim, acreditamos que o motivo possa ser pela trajetória descrita pelo objeto em movimento, uma vez que, para Aristóteles, o movimento oblíquo ou horizontal cessa completamente quando a “força” se extingue, causando uma queda inteiramente vertical pela necessidade do corpo em encontrar seu lugar natural. Enquanto isso, o *impetus* impresso de Buridan se extingue gradualmente do corpo, fornecendo um aspecto arredondado no final de sua trajetória.

Resumindo, a pesquisadora concluiu que os alunos, de maneira geral, acreditam que se um corpo possui velocidade diferente de zero, levando em conta uma aceleração positiva, a força também deverá ser zero. O contrário também se torna verdadeiro: quando a velocidade é diferente de zero, a força também deverá ser diferente, mesmo não havendo aceleração.

## 4.2 JOHN CLEMENT

O trabalho intitulado *Preconcepções dos estudantes em mecânica introdutória* (1982), de John Clement, físico e professor da Universidade de Massachusetts, teve como objetivo discutir sobre as dificuldades das concepções primitivas<sup>45</sup>, como os princípios fundamentais das leis de Newton, em particular, força e movimento.

Logo na introdução, Clement (1982) fez um comentário pertinente indicando que o estudo qualitativo de conceitos básicos é, na verdade, complexo e que a compreensão superficial dos alunos em relação à manipulação de equações pode mascarar o entendimento desses conceitos. Além disso, pontuou que essas concepções persistem mesmo após o estudo da mecânica elementar, indo ao encontro das afirmações de Viennot (1979).

---

<sup>44</sup> No original: “Interestingly, the intuitive scheme is very close to a rather involved scheme of historical thought. It is much closer to the impetus theory than to Aristotle; also, it is not primitive in that it goes far beyond the thought of young children”.

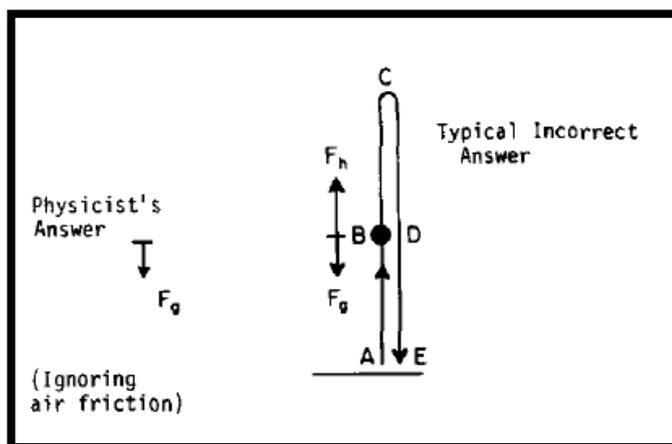
<sup>45</sup> Clement usa os termos “conceptual primitives”.

O importante exemplo dado no trabalho é a relação entre força e aceleração, em que o aluno associa o mundo real ao mundo “ideal” da física newtoniana, o que implica em uma concepção aparente, na qual o objeto movido precisa de uma força que atue continuamente. De acordo com Clement (1982), essa concepção do aluno é causada pela experiência cotidiana de um mundo com atrito, no qual precisamos manter uma aplicação de força continuamente para manter um objeto em movimento. Uma das explicações é que o aluno costuma não associar o atrito a uma força. Dessa maneira, quando o atrito é desprezado na física newtoniana, o aluno mantém a ideia de uma força contínua para o movimento. Assim, podemos perceber no trabalho descrito, uma ligeira similaridade com a visão aristotélica, na qual só existe movimento se existir algo que mova continuamente o objeto, em uma perspectiva mais atual, a força.

Clement (1982) elaborou testes escritos e vídeos com situações-problema para que os alunos resolvessem. Em uma turma de Engenharia, foram aplicados dois testes no começo do primeiro semestre a fim de diagnosticar a concepção dos alunos. Os resultados podem ser observados na Figura 14.

O primeiro teste consistia em um problema de lançamento vertical chamado de *Coin problem* (problema da moeda, em tradução livre), no qual uma moeda é lançada verticalmente até atingir uma altura máxima e, em seguida, volta até o ponto de lançamento. O problema exigia que o aluno representasse as forças que atuavam sobre a moeda em um ponto B, conforme a Figura 12, que está entre o momento de lançamento e o momento em que atinge a altura máxima.

Figura 12 – Questão de lançamento vertical aplicada por Clement.

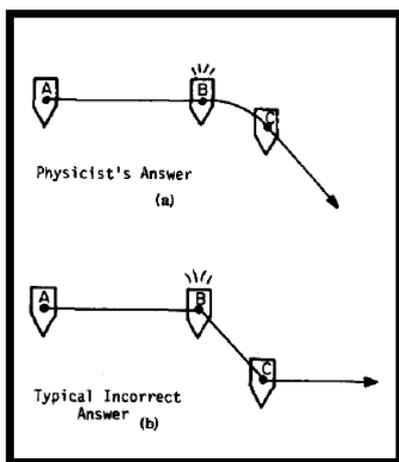


Fonte: Clement (1982, p. 67).

No segundo, o problema do foguete pede que o aluno desenhe o trajeto realizado a partir do ponto B até o ponto C, de acordo com a Figura 13. Deve-se levar em consideração que o

foguete está se movimentando com motor desligado no espaço e longe de qualquer corpo ou planeta que possa interferir. No ponto B, o motor, posicionado na extremidade vertical superior do foguete na ilustração, é acionado com finalidade de se alcançar o ponto C. Além disso, o problema pedia que fosse desenhado o caminho após o ponto C, momento no qual o motor seria novamente desligado.

Figura 13 – Questão acerca do movimento de um foguete aplicada por Clement.



Fonte: Clement (1982, p. 68).

Na questão da moeda, Clement (1982) compara as respostas dadas pelos alunos com a argumentação de Galileu presente no manuscrito *De Motu (Do Movimento)*. Assim, evidencia uma certa similaridade na contrariedade entre a força de resistência do peso e a força impressa, na qual a força que foi transmitida ao objeto é enfraquecida pela força que puxa para baixo.

O corpo é movido para cima, desde que a força motora impressa seja maior do que a resistência proveniente do peso. Mas, essa força, como foi demonstrado, é continuamente enfraquecida; finalmente ficará tão diminuída que deixará de superar o peso do corpo e não o impulsionará além desse ponto... Como a força impressa, caracteristicamente, continua diminuindo, o peso do corpo começa a ser predominante e conseqüentemente o corpo começa a cair... Isso é o que considero como sendo a verdadeira causa da aceleração do movimento (GALILEI, 1960, p. 89 apud CLEMENT, 1982, p. 69)<sup>46</sup>.

<sup>46</sup> No original: “The body moves upward, provided the impressed motive force is greater than the resisting weight. But that force, as has been shown, is continuously weakened; it will finally become so diminished that it will no longer overcome the weight of the body and will not impel the body beyond that point... As the impressed force characteristically continues to decrease, the weight of the body begins to be predominant, and consequently the body begins fall ... This is what I consider to be the true cause of the acceleration of motion”.

É válido ressaltar que, conforme vimos anteriormente, Galileu foi muito além dessa análise descrita no manuscrito citado, argumentando de maneira mais incisiva na obra *Two New Sciences* (CLEMENT, 1982).

Um fato a se considerar é que nem sempre essas concepções estão inseridas somente nos jovens. Adultos também podem apresentá-las, como no caso do escritor Monteiro Lobato (1882-1948). Em sua obra *Viagem ao Céu*, o escritor explica de maneira quase idêntica à forma que Galileu defendeu na obra *De Motu*.

Vovó diz que a força de atração dos astros puxa todos os corpos para o centro deles. Quando a gente joga para o ar uma laranja, a laranja sobe até certa altura e depois volta. Que é que a faz voltar? Justamente a força de atração que puxa todos os corpos para o centro deles. **Enquanto a força que jogou a laranja é maior que a força de atração que puxa a laranja, a laranja sobe. Quando a força de atração se torna maior, a laranja cai** (LOBATO, 2018 grifo nosso)<sup>47</sup>.

Isso nos fornece indícios de que o modo como tratamos o Ensino de Física não está sendo muito efetivo, portanto, não estamos conseguindo trabalhar adequadamente as concepções presentes na Ciência. Para Clement (1982), há uma necessidade de maior atenção para com os princípios fundamentais e que na história pré-newtoniana houve certa resistência, por parte dos cientistas, em abandonar a concepção de que “*motion implies a force*” (movimento implica em uma força), assim como há nos estudantes.

Figura 14 – Imagem da tabela de resultados apresentada no artigo de Clement<sup>48</sup>.

---

<sup>47</sup> Esta citação foi retirada com base na leitura de um e-book. Por isso, não há paginação adequada, uma vez que a diagramação do texto pode ser alterada conforme o desejo do leitor. Diante dessa dificuldade para referenciar o texto, foi decidido colocar como nota os seguintes dados: LOBATO, Monteiro. *Viagem ao Céu*. Rio de Janeiro. Editora: Biblioteca Azul, 2018. Capítulo 11: Continua a viagem.

<sup>48</sup> Tradução do título: Tabela I. Desempenho na questão da moeda e do foguete. Tradução da primeira coluna, de cima para baixo: Problema da Moeda; problema do foguete. Tradução da segunda coluna: parte a; parte b. Tradução dos títulos na segunda linha, da esquerda para direita: % correta antes do curso; % correta depois do curso; % correta para engenheiros com dois semestres concluídos em uma segunda instituição.

**Table I. Performance on coin and rocket problems.**

		% correct before course	% correct after course	% correct <sup>a</sup>
Coin problem		12% (N = 34)	28% (N = 43)	30% (N = 37)
Rocket problem	(Part a)	11% (N = 150)	23% (N = 43)	35% (N = 37)
	(Part b)	38% (N = 150)	72% (N = 43)	65% (N = 37)

<sup>a</sup>For engineers with two semesters of physics at a second institution.

Fonte: Clemente (1982, p. 67).

#### 4.3 ARDEN ZYLBERSZTAJN

O físico brasileiro Arden Zylbersztajn também escreveu sobre o tema concepções alternativas, sobretudo no artigo *Concepções Espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o Ensino* (1983), o qual adotamos para este trabalho. Esse estudo tem como objetivo a apresentação de algumas concepções espontâneas, em forma de revisão, e suas implicações.

Arden Zylbersztajn (1983, p. 3) afirmou no início de seu artigo que “[...] alunos de 2º grau e mesmo estudantes universitários, tendem a associar uma força com a velocidade de um objeto e não com a sua aceleração”. Para fundamentar essa afirmação, o autor citou um trabalho elaborado conjuntamente com Michael Watts<sup>49</sup>, realizado com 125 alunos ingleses com idade aproximada de 14 anos. O questionário aplicado continha exercícios análogos ao problema da moeda, citado anteriormente com o trabalho de Clement. Outra proposta era dada pelo exercício que se dava ao movimento de uma bala de canhão. O objetivo era que os alunos analisassem a relação de força e movimento nos objetos.

Os resultados não evidenciaram concepções distantes das observadas nos trabalhos anteriores, e os alunos, com certa regularidade, associavam a existência de força quando há velocidade. Com base em outras pesquisas, podemos observar que essa não é uma situação regional e nem de faixa etária, uma vez que há trabalhos com universitários ingleses, belgas,

<sup>49</sup> ZYLBERSZTAJN, Arden; WATTS, D.Michael. Surveying some ideas about force – a pilot study. **IET – University of Surrey**, 1980.

portugueses, quenianos e franceses. Embora não seja o foco deste trabalho, é importante mencionar que Arden Zylbersztajn (1983) também abordou as concepções espontâneas, a terceira lei de Newton e a gravidade.

O primeiro ponto comentado, como implicação para o Ensino, é a existência de um confronto entre o que desejamos que um aluno compreenda e a concepção espontânea que ele carrega, isto é, a Ciência vigente *versus* a cotidiana. Dessa maneira, Arden concluiu que é preciso que a ideia dos alunos seja levada em conta no momento de aprendizagem. Desse modo, apontou para uma direção que vai ao encontro da visão de Paul Feyerabend (1924-1994), visto anteriormente neste trabalho. Desse modo, as concepções espontâneas podem ser usadas durante o processo de aprendizagem, pondo-as em confronto, em discussões argumentativas que evidenciem suas próprias limitações.

Apesar da sugestão de confronto entre as ideias, Arden Zylbersztajn (1983, p. 10) aponta certa preocupação à essa prática:

[...] É preciso contudo apontar que a simples apresentação de contra-exemplos (sejam eles experimentais ou teóricos), que ofereçam pontos de ruptura com limites explicativos das noções espontâneas, pode ser de pouca efetividade no que tange à superação destas noções por parte do aluno.

Dessa maneira, Zylbersztajn (1983) asseverou que é preciso ir além de apresentar contraexemplos, é necessário que os alunos formalizem de alguma maneira suas próprias concepções. Nesse sentido, Arden resgata os trabalhos de Nussbaum e Novick (1981 apud ZYLBERSZTAJN, 1983)<sup>50</sup>; o artigo propõe sugestões para uma sequência de atividades:

1. Criar uma situação que induza os alunos a invocarem suas concepções a fim de interpretá-las.
2. Encorajar os alunos a descreverem as suas ideias verbalmente e por meio de figuras.
3. Ajudar os alunos a enunciarem de modo claro e conciso as suas ideias.
4. Encorajar o debate sobre os prós e contras de diferentes interpretações dos alunos.
5. Criar um conflito cognitivo entre as concepções apresentadas a algum fenômeno que não pode ser explicado pelas elas mesmas.

---

<sup>50</sup> NUSSBAUM, N.; NOVICK, S. Creating cognitive dissonance between student's preconceptions to encourage individual cognitive accommodation and a group cooperative construction of scientific model. **Conferência Anual da AERA**, Los Angeles, 1981. Ver também: J. NUSSBAUM e S. NOVICK. Brainstorming in the classroom to invent a model: a case study. *Sch. Sci. Rev.* 62 (221), 1981.

6. Apoiar a busca de uma solução e encorajar sinais de uma acomodação de ideias. Encorajar a elaboração da nova concepção quando esta for proposta.

Portanto, de acordo com Arden Zylbersztajn (1983), entender sobre o que o aluno carrega ao entrar na sala de aula se faz importante, porém não é o suficiente para que a compreensão se estabeleça sobre a resistência da concepção alternativa do aluno.

#### 4.4 LILLIAN CHRISTIE MCDERMOTT

O trabalho *Pesquisa de Compreensão Conceitual em Mecânica* (1984), de McDermott, tem como objetivo discutir o ensino e a aprendizagem acerca das forças passivas, força gravitacional, velocidade e aceleração, força e movimento e alguns outros conceitos da mecânica. Neste trabalho, manteremos o foco apenas nos conceitos relacionados à inércia.

De acordo com a pesquisa, mais uma vez a concepção dos alunos mostra a força atuando na direção do movimento em um pêndulo em movimento de acordo com a Figura 15. Para os alunos, a força é necessária para manter o movimento, e o sentido contrário da concepção anteriormente dita também é verdadeiro. Sendo assim, é difícil para os educandos associarem força aos corpos que não estão em movimento:

O trecho abaixo foi retirado de uma discussão em classe sobre a força normal exercida para cima por uma superfície:

Professora: ... Agora, há uma cadeira. [*Permanece nela.*] Eu estou tendo algum efeito dela agora?

Estudante 2: A gravidade está puxando você para baixo, criando uma força.

Professora: Sim, e qual isso está tendo?...

Estudante 4: A cadeira está empurrando para cima.

Estudante 5: A cadeira não está empurrando para cima. Se isso acontecesse, quando você sair dela, a cadeira faria "whoop". [*Indicando, com a mão, movimento para cima.*]... Essas coisas [mesa, cadeira] estão oferecendo resistência... Elas não empurram para cima... Essas coisas, a cadeira, não podem fazer nada. Elas não estão vivas (DRIVER, 1983 apud MCDERMOTT, 1984, p. 25, tradução nossa)<sup>51</sup>.

---

<sup>51</sup> No original: "The excerpt below is taken from a class discussion of the normal force exerted upward by a surface:

*Teacher:* . . . Now there is a chair. [*Stands on it.*] Am I having an effect on it right now?

*Student 2:* Gravity is pulling you down, creating a force.

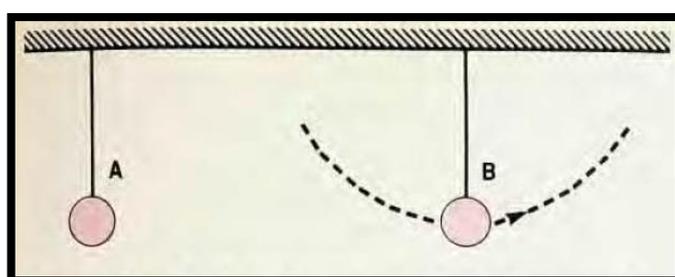
*Teacher:* Yes, and what effect is that having? . . .

*Student 4:* The chair is pushing up.

*Student 5:* That chair does not push up. If it did when you got off, it would go "whoop." [*Indicates upward motion with hand.*] . . . These things [table, chairs] are offering resistance. . . . They are not pushing up. . . . Those things, the chair, can't do anything. They are not alive" (DRIVER, 1983 apud MCDERMOTT, 1984, p. 25).

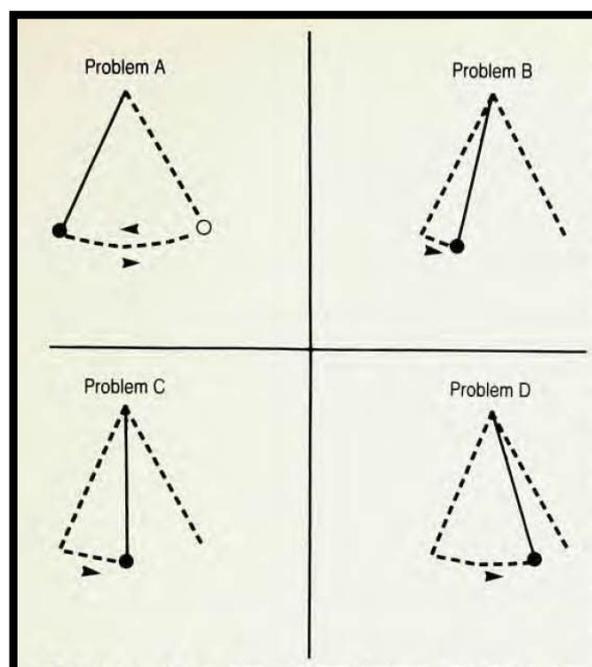
Uma das pesquisas citadas por McDermott é a de Michael McCloskey, Alfonso Caramazza e Bert Green, da Universidade John Hopkins. Parte da pesquisa foi feita com um questionário escrito, o qual pedia para desenhar a trajetória de um pêndulo quando a corda fosse cortada nos pontos específicos de acordo com a Figura 16. No ponto C, 65% dos estudantes desenharam uma linha reta até o chão. Os investigadores, mais uma vez, relacionaram os desenhos à concepção de *impetus* de Buridan. Além disso, McDermott também discutiu os trabalhos de Clement e Viennot.

Figura 15 – Questão do pêndulo proposta por McDermott



Fonte: McDermott (1984, p. 27).

Figura 16 – Questão da corda rompida em um pêndulo, proposta por McDermott.



Fonte: McDermott (1984, p. 29).

#### 4.5 JOSÉ MARIA SEBASTIA

O trabalho de José Maria Sebastia, denominado *Força e Movimento: a Interpretação dos estudantes* (1984)<sup>52</sup>, tem como objetivo interpretar, descrever e explicar a origem cognitiva que emerge como interpretação dos alunos.

De acordo com o artigo, a pesquisa foi realizada na Espanha e contou com a participação de 345 estudantes. Por meio de um questionário clínico inspirado nas ideias de Piaget, foram aplicadas questões conceituais acerca do movimento vertical e circular dos corpos, com cinco alternativas e um campo para explicar a razão da escolha.

Na Figura 24 do anexo II<sup>53</sup>, é possível observar a porcentagem de respostas da questão apresentada como na Figura 23, também no anexo II. Entre elas, a concepção newtoniana de força e movimento (alternativa 3) tem adesão de apenas 9,4%, levando em consideração que todos os outros grupos optaram em menor quantidade por essa opção, chegando até a 0%. Em contrapartida, a alternativa mais adotada entre os grupos em um movimento vertical para cima é a de que uma força atua durante o movimento de subida e decresce com o tempo até igualar a força peso e o corpo voltar a cair.

Para o movimento circular da Lua e da funda, Figuras 25 e 26 do Anexo II, respectivamente, ocorrem representações similares a dos exercícios anteriores. A concepção newtoniana quase não é adotada nas duas situações, atingindo um máximo de 7,5% e 6,2%.

Dessa maneira, a primeira conclusão dada pelo pesquisador é que os grupos geralmente concentram-se em uma única resposta, por isso, possuem alguma origem cognitiva em comum. Uma das conclusões é acerca da similaridade para com as teorias históricas, na qual Sebastia (1984) diz não corresponder de maneira exata às concepções dos alunos, diferenciando seus resultados dos trabalhos passados, como Viennot e Clement. Além disso, apoia-se em Mario Augusto Bunge (1919-) para explicar que as interpretações dos alunos sobre força e movimento vêm de uma relação causal e com características próprias.

#### 4.6 LUIZ ORLANDO DE QUADRO PEDUZZI; SÔNIA SILVEIRA PEDUZZI

Esta sessão é composta pela abordagem de três artigos. O primeiro é *O Movimento de projéteis e a solução Mecânica de problemas* (1984), de Luiz Peduzzi, professor de Física da

---

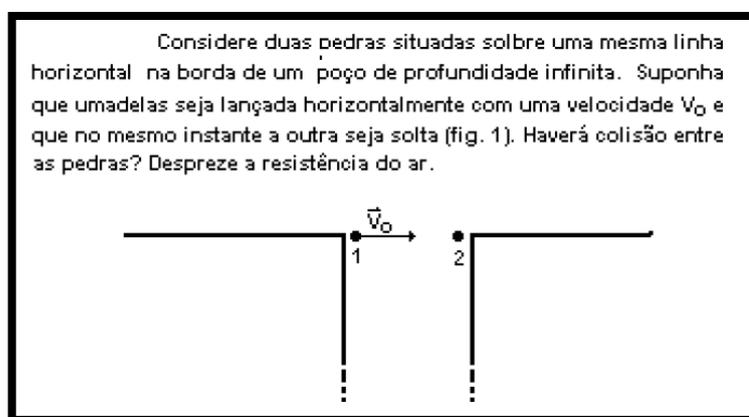
<sup>52</sup> No original: *Fuerza y Movimiento: La Interpretacion de los Estudiantes*.

<sup>53</sup> Decidimos colocar todas as imagens que ocupam uma página inteira em anexo por uma razão estética.

UFSC. O segundo é um trabalho em conjunto de Luiz Peduzzi e Sônia Peduzzi, também professora de Física na UFSC, intitulado *O Conceito de Força no Movimento e as duas primeiras Leis de Newton* (1985a). O terceiro, também produzido por ambos, chama-se *Força no Movimento de Projéteis* (1985b).

O primeiro trabalho, como diz no título, aborda a problemática da repetição mecânica de exercícios sobre o movimento de projéteis. O relato é baseado em experiência vivenciada em uma sala de aula de Engenharia. Na primeira questão proposta como atividade individual ou em grupo (Figura 17)<sup>54</sup>, não houve nenhuma resposta/justificativa correta entre os 35 alunos.

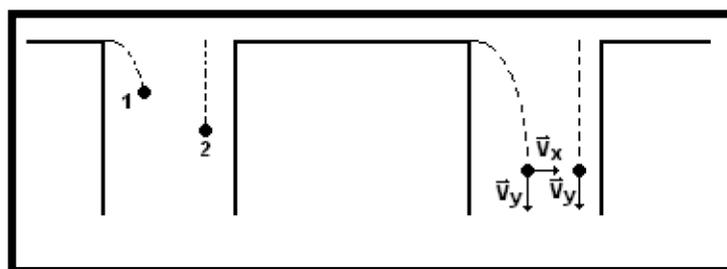
Figura 17 – Questão do poço infinito, proposta por Peduzzi.



Fonte: Peduzzi (1984, p. 9).

Ao pedir que os educandos desenhassem a trajetória das pedras após um tempo qualquer, apenas três ilustraram de maneira correta, “[...] sem no entanto, saberem explicar o porquê de suas respostas” (PEDUZZI, 1984, p. 10). O lado esquerdo da Figura 18 mostra a trajetória usualmente representada pelos alunos, enquanto o lado direito, aponta as posições corretas das pedras.

Figura 18 – Resposta da questão da Figura 17, de acordo com os alunos e Peduzzi, respectivamente.



Fonte: Peduzzi (1984, p. 10).

<sup>54</sup>A Fig. 5.6.1 apresenta uma falha de digitação. A palavra “sobre” deve ser substituída por “sobre”.

A questão seguinte evidencia que além dos alunos não terem compreendido direito sobre a composição do movimento de projéteis, talvez também tenham alguma dificuldade com a interpretação do problema. Basicamente, a questão diz que um avião em voo horizontal solta três bombas consecutivas com intervalos de 2s. e pedia que fosse representada a distância vertical entre a primeira e segunda bomba quando a terceira fosse solta. O padrão de resposta pode ser observado do lado esquerdo da Figura 19, bem como a representação correta do lado direito.

Figura 19 – Questão do avião proposta por Peduzzi.



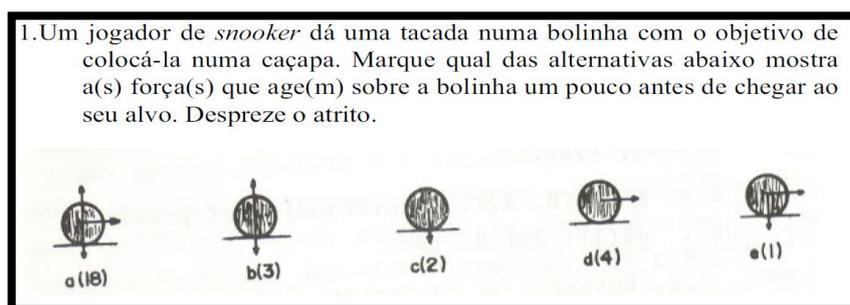
Fonte: Peduzzi (1984, p. 11).

Luiz Peduzzi (1984, p. 12) insistiu um pouco mais no exercício e fez uma pergunta complementar à questão do avião, a qual foi enunciada da seguinte maneira: “[...] onde estará o avião quando a bomba solta do mesmo atingir o solo no ponto B?”. Ainda assim, as respostas, embora corretas, apresentam-se sem justificativa coerente. Conclui-se, então, que a resolução dos exercícios é, muitas vezes, realizadas de maneira mecânica e que os alunos tinham dificuldades em compreender as concepções do movimento de projéteis.

O segundo artigo consta com uma sequência de exercícios mais elaborados e tem como objetivo compreender as ideias intuitivas sobre força e movimento, que emergem das respostas dadas em um questionário pelo conjunto de 28 alunos, do curso introdutório de Física. De acordo com os resultados obtidos, podemos observar mais uma vez que as concepções se aproximam dos resultados encontrados por Viennot e os outros pesquisadores, ou seja, existe um padrão quanto à porcentagem de alunos que representam a força quando há movimento, ou mais especificamente, quando há velocidade.

A primeira questão (Figura 20)<sup>55</sup>, mostra uma porcentagem de acertos (alternativa b) que corresponde à aproximadamente apenas 10%, sendo que a alternativa mais respondida está próxima de 64%. Observando a alternativa mais respondida, notamos que o sujeito da pesquisa relaciona a força peso, a força normal e uma terceira força para o movimento que exerceria a função de agente motor do movimento. Essa terceira força é inexistente no paradigma newtoniano.

Figura 20 – Questão número 1 de lançamento vertical, proposta por Peduzzi e Peduzzi.



Fonte: Peduzzi e Peduzzi (1985a, p. 12).

O terceiro artigo possui, basicamente, o mesmo objetivo. A diferença é que os exercícios foram alterados com a finalidade de melhorar a interpretação do conhecimento do aluno pela sua representação durante a resolução do exercício. Além das questões análogas às anteriores, foi colocada uma opção a mais de resposta para que aluno pudesse esquematizar a sua própria visão, caso acreditasse que nenhuma das alternativas anteriores fosse coerente.

Concluiu-se, então, que os alunos não compreendem os conceitos de força e movimento do paradigma atual e essas concepções resistem aos conceitos newtonianos.

#### 4.7 JINWOONG SONG; SOOK-KYOUNG CHO; BYUNG-HOON CHUNG

O trabalho dos três autores citados neste título, intitulado *Explorando o Paralelismo entre a Mudança nas Concepções dos Alunos e as Mudanças Históricas do Conceito de Inércia* (1997)<sup>56</sup>, investiga um total de 736 estudantes de quatro diferentes grupos etários (11, 13, 15 e 17 anos), buscando as concepções alternativas do conceito de Inércia que eles possuem e comparando-as com as mudanças históricas desse conceito.

<sup>55</sup> Por acreditarmos que se trata de problemas estimulantes e de importância significativa, as demais questões do artigo citado estão presentes no anexo II (Figuras 5, 6 e 7), no final deste trabalho. Não foram inseridas no corpo do texto por possuírem uma estrutura muito similar à primeira questão, portanto não havia necessidade de inclusão.

<sup>56</sup> No original: *Exploring the Parallelism Between Change in Students' Conceptions and Historical Change in the Concept of Inertia*.

O artigo cita várias maneiras desenvolvidas para aproximar a concepção alternativa da científica, tais como: *Modelo de Aprendizagem Generativa, Demonstração-observação-Explicação, Predição-Observação-Explicação* (tradução livre)<sup>57</sup> etc. Entretanto, de acordo com esse trabalho, uma abordagem histórica tem sido uma das maneiras mais úteis de ensinar Ciência, desde a introdução do *Harvard Project Physics* (Projeto Física de Harvard) da década de 60. Por isso, há a correlação entre a pesquisa da concepção alternativa com as mudanças históricas do conceito.

A pesquisa foi realizada de duas a três escolas de cada grupo etário da cidade de Seoul, capital da Coreia do Sul, por meio de questionários aplicados a 158 alunos com 11 anos, 190 com 13, 206 com 15 e 182 com 17. Assim, o questionário continha três questões que abordavam aspectos diferentes do conceito: movimento natural, movimento de uma lança voando e o movimento de uma pedra caindo em um navio em movimento.

A primeira questão foi feita de modo que o aluno pudesse responder em qual dos movimentos naturais *não* há força externa sendo aplicada. A primeira situação correspondia ao movimento das estrelas ao redor da Terra, uma vez por dia. A segunda, ao movimento de queda de um objeto que foi solto à uma certa altura. A terceira, ao movimento em linha reta de uma bola que mantém a mesma velocidade após rolar para baixo sobre um plano inclinado. Por último, ao movimento de um objeto que está em repouso<sup>58</sup>. Quanto a essa questão, as respostas da Tabela 2, a seguir, estão divididas em opções relativas aos pensadores Aristóteles, Galileu e Newton. Aristóteles é representado pelas opções 1 e 2, Galileu pela opção 3 e Newton pelas opções 3 e 4.

Tabela 2 – Tabela de respostas.

<b>Respostas dos Sujeitos da Pesquisa (%)</b>						
<b>Anos</b>	<b>Opção 1</b>	<b>Opção 2</b>	<b>Opção 3</b>	<b>Opção 4</b>	<b>Opção 1 &amp; 2</b>	<b>Opção 3 &amp; 4</b>
11	61,0	59,8	53,7	51,8	7,6	3,2
13	62,3	47,1	41,8	66,1	8,9	7,9
15	62,9	34,6	47,8	50,2	11,2	9,7
17	50,6	18,8	56,8	50,6	6,6	19,2
Média	59,4	39,3	49,7	54,7	8,7	10,2

Fonte: Adaptada de Song, Cho e Chung (1997, p. 90).

<sup>57</sup> No original: *Generative Learning Model, Demonstrate-observe-Explain, Prediction-Observation-Explanation*.

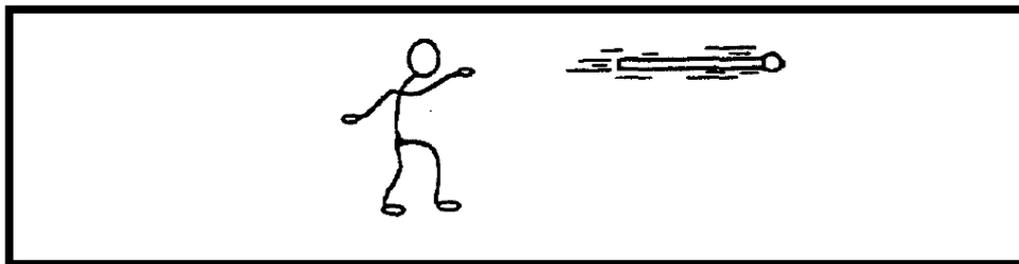
<sup>58</sup> A questão pode ser lida no original na Figura 8 do Anexo II deste trabalho.

Como resultado da primeira questão, o trabalho mostrou que não há uma grande variação na concepção dos estudantes conforme a mudança de idade, com exceção da opção 2 do trabalho.

Desse modo, foram considerados, por metade de cada grupo, que o movimento dos itens 1, 3 e 4 são naturais, no entanto, o sujeito que escolhe as opções 1 e 2 e mais nenhuma, aproxima-se da visão aristotélica, aumentando essa concepção para o grupo de 15 anos e diminuindo para o grupo de 17. Ainda que a visão Aristotélica tenha ficado mais popular no grupo de 15 anos, a visão newtoniana teve um avanço constante conforme a idade dos sujeitos se torna maior. De acordo com o artigo, esse aumento constante pode ser explicado pela razão de o assunto ser explicitamente abordado com os alunos no primeiro e no segundo ano do Ensino Médio, como uma das leis de Newton.

A segunda questão, conforme vemos na Figura 21<sup>59</sup>, representa uma lança sendo arremessada, traçando uma trajetória horizontal. O problema pedia para explicar, por meio da escrita, como é possível que a lança continue “voando” para frente mesmo depois de ter deixado a mão do lançador.

Figura 21 – Questão da lança proposta por Song, Cho e Chung.



*Fonte: Song, Cho e Chung (1997, p. 91).*

O resultado do questionário está presente na Figura 33 do Anexo II, conforme o original. Quanto às respostas de (1) à (5), foram interpretadas como questões não compreendidas pelos estudantes, que apenas descrevem o que ocorre com a lança, sem explicações. De (6) à (9), surgiram a explicação sob influência gravitacional. Entre (10) e (13), explicações com base dos efeitos do ar ou do vento, somando cerca de 10,9% das respostas. Mais da metade, 57,6%, apresentou uma explicação de que algo é fornecido do lançador para o objeto lançado, em (14) até (18). Em relação às explicações com base na ideia de inércia, foi constatado somente 5,6%, vistos em (19) a (21).

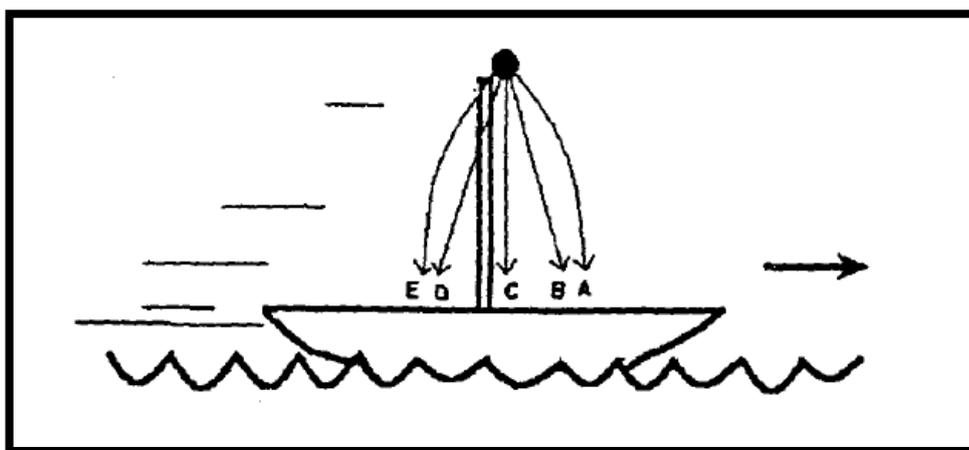
---

<sup>59</sup> Original: Figura 33 do Anexo II.

Dessa maneira, há respostas similares a de Aristóteles, do tipo (12), e de Galileu, do tipo (3) ou (7), todavia a maioria optou por explicações muito próximas da Teoria de *Impetus* de Buridan, embora usando termos diferentes, a saber: força, energia ou outra coisa. Uma perspectiva também interessante é a relação do tipo (4), considerada pelos autores, como uma resposta similar ao pensamento de movimento de Leonardo da Vinci (1452-1519) (SONG, CHO; CHUNG, 1997).

A terceira questão tratou do clássico exemplo do navio, proposto por Giordano Bruno, e foi dividida em duas partes. Na primeira, foi verificado a porcentagem de respostas corretas em 33,4% para a escolha da trajetória percorrida por uma pedra solta do alto de um mastro de um navio em movimento, desconsiderando a resistência do ar. Na segunda, foi questionado por qual motivo o estudante pensou daquela maneira (respondida na primeira parte da questão 3). Analisando a Figura 36 do Anexo II (imagem de uma tabela), uma das respostas frequentemente escolhidas foi classificada como a opção 30 – A pedra vai cair atrás do mastro com uma trajetória curva porque o navio está se movendo para a frente – chegando a 11,7%. Também a opção 36 – A pedra vai cair atrás do mastro com uma trajetória linear – com 10,1%. Mostrando assim, pelas respostas, um movimento independente entre a pedra e o navio. Para a alternativa correta, as respostas da segunda parte foram diferentes em várias ocasiões, mostrando uma incoerência para o motivo que envolve a queda da pedra na trajetória C, como podemos observar na Figura 22. Os testes escritos e os resultados, por sua vez, podem ser vistos nas Figuras 34 e 35 do Anexo II.

Figura 22 – Questão do navio proposta por Song, Cho e Chung.



Fonte: Song, Cho e Chung (1997, p. 95).

Por fim, esse trabalho mostra que nem todos os estudantes possuem concepções próximas aos pensadores do passado, ou, ainda, que existem similaridades que se apresentam ao mesmo tempo que mostra algumas diferenças. Dessa maneira, discorre sobre a possibilidade de usar a história como um recurso para os estudantes que possuem concepções mais parecidas aos pensadores, criando discussões ativas em sala de aula. Enquanto que, para o grupo de estudantes que possuem concepções com diferenças gritantes, o uso da história deveria ser incluído com atenção especial nessas diferenças, a fim de ocorrer uma mudança efetiva na concepção dos alunos.

#### 4.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

De acordo com os resultados fornecidos pelas pesquisas citadas, podemos perceber que a maioria reconhece a concepção alternativa como sendo mais próxima da teoria do *impetus* medieval de Buridan, embora, em outras vezes, apareçam semelhanças com a concepção de Aristóteles ou Galileu. A questão é que, como visto anteriormente, existe muita semelhança entre essas concepções, sobretudo entre Buridan e Galileu, uma vez que a lógica usada por Aristóteles é baseada em uma metafísica, a qual está muito distante do pensamento do final da Idade Média.

Ainda que a maioria dos resultados apontem para a concepção semelhante à de Buridan, há os que defendem que não é possível saber exatamente a qual das concepções seria melhor correlacionada, uma vez que há semelhanças e diferenças ao mesmo tempo. E isso impede a possibilidade de caracterizar a percepção que emerge do aluno em comparação às concepções dos pensadores.

Indiferentemente do grau de semelhança com algum pensador do passado, para esta pesquisa, basta entender a importância que há no fato de aparecer similaridades nas ideias dos alunos, pois estas podem ser enfrentadas de maneira argumentativa, fazendo uso de uma base histórico-epistemológica.

Complementando essa reflexão, Viennot (1979, p. 2013) pontuou que “[...] teaching of the Newtonian scheme will only be fully effective when students are led to look at the discrepancies between it and their spontaneous ideas”. Essa afirmação corrobora com as sugestões de Zylbersztajn (1983), o pluralismo metodológico de Feyerabend (2011b).

Entendemos, portanto, que existe uma necessidade de aprimorar a abordagem dos conceitos fundamentais, uma vez que as pesquisas mostram que as concepções alternativas sofrem uma certa resistência a modificações.

## 5 À GUISA DE UMA CONCLUSÃO INCONCLUSIVA

A Epistemologia da Ciência foi interpelada ao longo deste trabalho com algumas relações às ideias de Feyerabend quanto à compreensão daquilo que denominamos Ciências. Essa aproximação foi realizada porque sentimos a necessidade de elaborar essa potencial colaboração, objetivando a desconstrução de uma visão ingênua da Física, sobretudo acerca do racionalismo ou de qualquer outro método que seja disseminado de maneira que se molde, ou que seja moldado como um único e eficaz conjunto de regras possível para que seja feita a construção da Ciência.

Podemos conjecturar, *a priori*, as mudanças da Ciência como sendo tentativas de encontrar a verdade. Dessa premissa, resultam duas conclusões principais: evolui-se a Ciência de forma a conquistar em mãos o *Santo Graal* da verdade absoluta em sua integralidade, ou cada vez mais progride a Ciência em busca da verdade que jamais encontrará. Podemos, ainda, considerar que não exista tal verdade a ser descoberta e, talvez, a Ciência seja “apenas” uma construção constituída de validade temporal. É assim que este capítulo se forma, com intuito de discutir diferentes concepções a respeito da Ciência e de suas mudanças, apresentando outros epistemólogos como Thomas Samuel Kuhn (1922-1996), Karl Raimund Popper (1902-1994) e Gaston Bachelard (1884-1962), além do já discutido Feyerabend, e correlacionando, quando conveniente, a concepção desses pensadores com o Ensino de Física.

Começamos pelo estadunidense que se autointitula ex-físico, Thomas Kuhn (2011), que muito refletiu acerca da filosofia, epistemologia e história da Ciência, tornando-se crítico do positivismo lógico e do tradicional método historiográfico (OSTERMANN, 1996). À saber, o positivismo lógico se trata de uma postura na qual se adota a progressão da Ciência por meio da observação neutra dos fenômenos realizada pelos cientistas; de forma linear, esse conhecimento ocorreria por indução, chegando-se a uma conclusão permanente.

A ciência kuhniana tem como base de sua estrutura as noções de *paradigma*, *ciência normal*, *revolução científica* e *incomensurabilidade*. Para Kuhn, de acordo com OSTERMANN (1996), a Ciência é dividida em duas categorias principais, o período denominado de ciência normal e o período de revolução científica. Para tratar destas duas categorias é necessário compreender que, para o epistemólogo, a palavra paradigma está carregada de um conceito geral e outro restrito – e essa disposição confusa empregada pelo termo gerou críticas ao pensador –, sendo possível conceber o primeiro como uma espécie de modelo teórico padrão a ser seguido. De acordo com Ostermann (1996), esse paradigma de sentido mais geral é constituído por um perfil comum dentro de uma comunidade científica, como “[...] constelação

de crenças, valores, técnicas partilhados pelos membros de uma comunidade determinada” (OSTERMANN, 1996, p. 186).

Nesse sentido, uma revolução científica, também chamada de ciência extraordinária, surge quando o paradigma, até então vigente, precisa ser substituído porque sofreu inúmeras rupturas ao longo de sua trajetória. Isto é, quando um conjunto teórico começa a não dar conta de explicar os novos fenômenos, significa que tal paradigma está sofrendo abalos graduais que causam rupturas em sua estrutura e, ao prazo de duas décadas, deverá ser substituído (KUHN, 2000). Diante disso, entende-se que o período de “[...] transição para um novo paradigma é chamado por Kuhn de **revolução científica**” (OSTERMANN, 1996, p. 191). Um exemplo comum de revolução é a substituição do paradigma newtoniano para o einsteiniano, a mecânica substituída pela relatividade. Ou ainda, a física celeste e terrestre de Aristóteles sendo unificada pelo conjunto de ideias presentes na mecânica de Newton.

Já o período de ciência normal é a fase que segue posteriormente à escolha de um novo paradigma, na qual os cientistas focam seus esforços para construir uma Ciência a partir do modelo já adotado como norteador. Assim, “[...] a ciência normal não tem como objetivo trazer à tona novas espécies de fenômeno; na verdade, aqueles que não se ajustam aos limites do paradigma frequentemente nem são vistos” (OSTERMANN, 1996, p. 187). Desse modo, para Kuhn, o período de ciência normal, também caracterizada como um período de atividade conservadora e dogmática, é absolutamente necessário para o desenvolvimento da Ciência, justamente por ser caracterizado por um momento de ampla rigidez. É nesse ponto que o suposto relativismo de Kuhn se diverge do relativismo de Feyerabend, cujas concepções alegam que o “[...] anarquismo teórico é mais humanitário e mais apto a estimular o progresso do que suas alternativas que apregoam lei e ordem” (FEYERABEND, 2011b, 31).

Faz sentido pensar que, supondo um período de ciência normal, se uma quantidade abundante de cientistas estiver trabalhando para resolver os mesmos problemas, é natural que esses problemas sejam resolvidos mais rapidamente do que se os cientistas estivessem dispersos, cada um em suas teorias.

Infelizmente, podemos associar o período de ciência normal a uma perspectiva capitalista, cuja ambição de poder na modernidade está interligada com a produção de tecnologia que, por sua vez, é uma consequência do desenvolvimento da ciência. Portanto, exigindo uma melhora enérgica da tecnologia, o Estado acaba excluindo o cientista que trabalha fora do paradigma.

Diante disso, é possível perceber que um período de ciência normal pode ter suas vantagens, mas a desvantagem pode ser ainda mais cruel. Acarretando, não somente na despreocupação para com o cientista que trabalha fora do modelo esperado, mas, também, na própria censura, discriminação e proibição do ato de trabalhar. Como no caso de Halton Arp (1927-2013), mostrado no documentário *Universe – The Cosmology Quest* (2004), e outros pesquisadores que sofreram ações de repúdio por defenderem ideias que se opõem à teoria do *estrondão*, conhecida como *Big-Bang*.

Com relação à busca pela verdade absoluta, de acordo com Ostermann (1996), embora Popper e Lakatos acreditem que o desenvolvimento da Ciência se dirija realmente para um lugar cada vez mais próximo da verdade, Kuhn defendeu que, independentemente se haver ou não uma verdade, não é preciso um objetivo previamente estabelecido para que possamos explicar sua existência e sucesso:

O processo de desenvolvimento científico corresponde à seleção pelo conflito da maneira mais adequada de praticar a ciência - seleção realizada no interior da comunidade científica. O resultado final [sic] de uma sequência de ciência extraordinária, separada por períodos de ciência normal, é o conjunto de instrumentos notavelmente ajustados que chamamos de conhecimento científico moderno (Kuhn, 1978). Estágios sucessivos de desenvolvimento são marcados por um aumento da articulação e especialização do saber científico. Para Kuhn, todo esse processo pode ter ocorrido, como no caso da evolução biológica (teoria darwinista), sem o benefício de uma verdade científica permanentemente fixada, da qual cada estágio do desenvolvimento científico seria um exemplar mais aprimorado (OSTERMANN, 1996, p. 193).

Falta-nos falar sobre a incomensurabilidade, cuja combinação com o aspecto de que não existe verdade a ser alcançada ou buscada, cria a ideia, por parte de críticos, de que Kuhn possui característica relativista sobre a Ciência, uma vez que nenhuma delas pode estar mais ou menos próxima da verdade (OSTERMANN, 1996). Assim, a incomensurabilidade se trata de não podermos comparar problemas de um paradigma com outro. A título de exemplo, não podemos tratar do problema da não conservação de energia do *Big-Bang* com a teoria de Giordano Bruno, a qual não prevê a origem do universo, pois defende que este é eterno no tempo e no espaço.

O pensador austríaco Karl Raimund Popper foi outro epistemólogo com ideias inovadoras a respeito da Ciência. Karl, presente na linha do racionalismo crítico (SILVEIRA, 1996), criticou a lógica indutiva, também chamada de indutivismo. A lógica indutiva tem como ação, resgatar os dados observacionais ou experimentais, transformando-os em teorias ou hipóteses, isto é, transformar o aspecto singular em universal. Popper defendeu que esse tipo de conclusão é insustentável, pois a premissa pode ter o erro como resultado. Sendo assim, por

mais que os dados sejam adquiridos em quantidades exorbitantes, é injustificável conceber conceitos universais a partir de situações singulares (POPPER, 2013). O célebre exemplo de Popper sobre os cisnes aparece em sua obra *A Lógica da Pesquisa Científica 2013*. A partir desse exemplo, pontuou que por mais que só tenhamos observado cisnes brancos, independe da quantidade, jamais poderemos concluir que, em razão dessa observação, todos os cisnes são brancos.

A título de importância, pois não cabe aqui descrever todo o conteúdo detalhadamente, o artigo *A insustentabilidade da proposta indutivista de descobrir a lei a partir de resultados experimentais* (2002), de Silveira e Ostermann, é um exemplo com relação à *Lei do Período* de um pêndulo simples, que concorda com a crítica feita por Popper. Basicamente, o trabalho mostra que por uma análise dos dados computacionais, a melhor equação que representaria o período do pêndulo é diferente da qual concebemos como correta. Mostrando, portanto, que há outros critérios para a escolha de uma Lei, teoria ou hipótese, que justamente e somente o método indutivo não é o suficiente para chegar a consequências universais (SILVEIRA; OSTEMANN, 2002).

Um aspecto da Ciência constituída nas ideias de Popper é o papel que esta desenvolve. Sobre isso, temos que:

[...] Não deve a epistemologia se preocupar em reconstruir a inspiração do cientista e não é importante para ela em que condições o cientista formulou a teoria; importa, sim, discutir como a teoria é testada. [...] Sempre haverá a possibilidade de no futuro derivar da teoria uma consequência que seja incompatível com os fatos e, portanto teorias científicas são sempre conjecturas que poderão ser refutadas. Não há forma de se provar a verdade de uma teoria científica, mas às vezes é possível descobrir que uma teoria é falsa (SILVEIRA, 1989, p. 150-151).

Essa última afirmação, de que é possível descobrir que uma teoria é falsa, leva-nos a uma outra preocupação de Popper: tentar demarcar o que de fato é ciência, o que está relacionado à concepção da falseabilidade. Portanto, preocupado em distinguir a Ciência da pseudociência, da metafísica, e das especulações não científicas, Popper defendeu que a verdadeira Ciência pode ser refutada pelos fatos, enquanto as outras não.

A título de exemplo, podemos supor que uma teoria dissesse “a maior velocidade existente é a velocidade da luz”. Essa suposta teoria seria científica, pois ela é falseável e refutável no momento que encontrasse uma partícula com velocidade superior à da luz. Diferentemente dos exemplos não científicos expostos por Popper, como a psicanálise de Sigmund Schlomo Freud (1856-1939) e o materialismo histórico de Karl Marx (1818-1883) (SILVEIRA, 1989). De acordo com Silveira (1989), além de propor o falseacionismo, Popper

defendeu que uma teoria científica não poderia ser sustentada/salva por meio das inserções *ad-hoc*.

A visão de Popper sobre a Ciência não exclui que teorias diametralmente opostas possam ser ambas consideradas Ciência, nem mesmo exclui o papel colaborativo da metafísica. Em síntese, Popper defendeu que o método indutivo é falso; a observação neutra é inexistente; a Ciência é uma construção, uma invenção que tem como intento compreender as coisas do universo; as teorias não são verdades absolutas, mas, sim, conjecturas provisórias; todo conhecimento é proveniente de outro anterior (SILVEIRA, 1996).

Com relação ao Ensino de Física, a visão de Popper pode nos beneficiar de várias maneiras. Uma delas é o papel de desmitificar a Ciência como fundamentalmente indutiva, o que é constantemente apresentado nos livros didáticos (SILVEIRA, 1989).

Outro epistemólogo bastante conhecido foi o químico francês Gaston Bachelard (1884-1962). Em vida, foi cativado pela arte da poesia e se aprofundou nos conhecimentos da filosofia, levando-o, inicialmente, a uma carreira de professor de Ciências e Filosofia de Paris. De acordo com Trintin (2017), suas publicações começaram de modo tardio, em 1928, quando tinha quarenta e quatro anos. Essas publicações formavam a estrutura que serviria de base para a sua epistemologia. Com o advento de suas publicações, Bachelard recebeu um convite para lecionar em Dijon, em 1930, e em Soborne, em 1940.

A forma como Bachelard caminhou para a elaboração de sua epistemologia pode ser atribuída à sua relação com as áreas de poesia e ciência. Ambas, distintas entre si em sua essência – subjetividade contra objetividade –, despertou o interesse de Bachelard. Assim, “[...] a atração do imaginário fez com que Bachelard o valorizasse “[...] como uma forma própria de apreensão e de recriação da realidade” (BACHELARD, 1978, p. VIII apud TRINTIN, 2017, p.1). De acordo com Trintin (2017), a epistemologia de Bachelard é apoiada em uma combinação entre razão e imaginação.

No livro *Para ler Bachelard*, de Japiassú (1976, p. 62-65 apud TRINTIN, 2017, p. 2), foram resumidas ideias revolucionárias do epistemólogo supracitado:

- Afirmar a objetividade dos conhecimentos científicos – tratar o conhecimento científico como flexível para superar os obstáculos epistemológicos. A objetividade está na capacidade de superar a organização racional das ideias, porque “prejudicaria a aquisição de novas ideias”;
- Categoria de verdade – a crença de verdade deve ser modificada, porque já não há mais verdade absoluta, mas sempre a busca;

- Caráter dialético do progresso das ciências – para Bachelard, a dialética une os formadores de hipóteses a quem executa a experiência.

Como apontado no resumo acima, Bachelard falou sobre os obstáculos epistemológicos, que são concepções que precisam ser ultrapassadas para a formação de um cientista, e causas que agem como resistência ao desenvolvimento da Ciência. Assim, “[...] é no próprio ato de conhecer, intimamente, que aparecem, por uma espécie de necessidade funcional, lentidões e perturbações. É aqui que residem causas de estagnação e mesmo de regressão” (BACHELARD, 2006, p. 165). Além disso, ressaltou:

A opinião *pensa* mal; ela não pensa: *traduz* necessidades em conhecimentos. [...] Nada se pode fundar a partir da opinião; é necessário, antes de mais, destruí-la. Ela constitui o primeiro obstáculo a ultrapassar. [...] É preciso, antes de tudo, saber formular problemas. [...] na vida científica os problemas não se formulam a si próprios. [...] Se não houver questão, não pode haver conhecimento científico. Nada é natural. Nada é dado. Tudo é construído (BACHELARD, 2006, p. 166).

Um obstáculo diz respeito à experiência primeira, que concebemos como a satisfação acrítica de um primeiro “resultado”. Esse obstáculo pode ser denominado de senso comum, uma análise superficial de um fenômeno.

[...] é a experiência situada antes e acima da crítica, que é necessariamente um elemento integrante do espírito científico. [...] o espírito científico tem de se formar contra a Natureza, contra aquilo que, em nós e fora de nós, é o impulso e a instrução da Natureza (BACHELARD, 2006, p. 170).

Um segundo obstáculo é uma crítica à generalização precoce do conhecimento, a qual leva a um indutivismo ingênuo (TRINTIN, 2017). Além disso, um terceiro obstáculo é o verbal, uma crítica àquilo que Bachelard chama de palavra-obstáculo, isto é, uma analogia para explicar aquilo que é abstrato. Trintin (2017) cita o exemplo da esponja usado por Bachelard. Tal ideia serve para explicar a compressibilidade do ar, assim como fez Descartes em sua obra *Princípios da Filosofia*. Ainda podemos citar o espaço einsteiniano, como sendo uma espécie de tecido que mantém os corpos em órbita ao redor do Sol. Para esse obstáculo, compreendemos que o Bachelard alerta para o perigo usado em algumas analogias, como a esponja e o tecido. Dessa maneira, torna-se um obstáculo o ato de tentar consolidar aquilo que é por essência abstrato e subjetivo em concreto. O que devemos, sempre que possível, é levar esse obstáculo em consideração para a sala de aula, uma vez que analogias são comuns ao tentar explicar conceitos tão abstratos, tais como: campo elétrico/magnético/gravitacional, espaço, tempo etc.

Dar inúmeras qualidades para as substâncias também se torna um exemplo de obstáculo. Sobre isso, Bachelard (2006, p. 175-176) afirmou:

Pedras preciosas possuem alto valor comercial, portanto, alto valor em suas propriedades medicinais. Malouin continua afirmando com toda a tranquilidade que (p. 6): o ouro possui uma certa virtude atrativa, pela qual alivia o coração daqueles que o olham. [...] Malouin escreve realmente: o ouro é um bom remédio para desintéria.

Talvez o obstáculo mais importante para nós seja o animista, justamente por podermos realizar um paralelo entre a ideia de Bachelard com o Princípio de inércia, pois esse obstáculo se faz presente pela atribuição de animar objetos inanimados, isto é, dar aspectos de seres vivos às coisas desconstituídas de vida. Como exemplo temos o desejo da matéria aristotélica em atingir seu lugar natural ou, ainda, a força inata da matéria, elaborada por Newton, agindo de forma própria, como fosse alma viva no ato de resistir ao movimento ou, uma vez existente, forçá-lo continuamente.

[...] tenta “dar a vida”, animar objetos antes inanimados para explicar fenômenos como a ferrugem no ferro, *um verdadeiro fetichismo da vida*. Quando a ciência objetiva não consegue explicar tal fato, o obstáculo se faz atraente. A intuição do espírito que transborda desse obstáculo é ofuscado para a objetividade científica. Ingênuo, o espírito toma os fenômenos biológicos para explicar fenômenos que ocorrem em seres não vivos (TRINTIN, 2017, p. 6).

Diante disso, completamos o nosso objetivo de apresentar algumas ideias de Bachelard como forma de divulgar sua visão epistemológica para que os mais interessados possam procurar por suas obras posteriormente. Em virtude desse pequeno resumo, não podemos deixar de citar ao menos os perfis epistemológicos traçados por Bachelard, para categorizar as formas do pensamento científico de uma determinada concepção.

De acordo com Trintin (2017), Bachelard propôs os seguintes perfis: realismo ingênuo; empirismo claro e positivista; racionalismo clássico; racionalismo completo (ou complexo); racionalismo discursivo (ou dialético).

Partiremos, agora, para uma discussão acerca de uma linha de pensamento mais próxima de Feyerabend, o anarquismo pedagógico.

Embora possa parecer que a ideia anarquista voltada para o Ensino seja originalmente de Feyerabend, Terra (2002) apontou que já se vinculavam o anarquismo com a pedagogia no final do século XVIII. Essa perspectiva anarquista para o ensino possui um envolvimento muito grande com a política, principalmente acerca da formação do aluno e com a postura do professor em sala de aula, porque deseja “[...] a total desvinculação entre o ensino e as formas de poder,

sobretudo a separação entre escola e estado, e escola e religião” (TERRA, 2002, p. 210). Além disso, incentiva a plena autonomia do aluno.

Entre as duas visões sobre a função da educação anarquista que foram amplamente debatidas na Espanha, adotamos um posicionamento mais próximo das ideias do escritor e ativista Ricardo Mella (1861-1925), o qual defendia que o aluno deveria ser formado com plena autonomia de sua própria formação. Nesse sentido, a função do ensino anárquico seria de “[...] libertar o indivíduo de todas as formas de dominação e de estimulá-lo a exercitar a escolha, segundo critérios próprios, sempre que ele se encontrar com ideias conflitantes” (TERRA, 2002, p. 210).

Essa tomada de posição, embora não se trate de uma das ideias diretas do próprio Feyerabend, pode ser associada com uma espécie de pensamento derivado de suas ideias (TERRA, 2002), e isso está relacionado com o tipo de aluno que queremos formar, pensando no Ensino Médio. Já para o grau de Licenciatura em Física, podemos pensar no tipo de professor que queremos formar.

A pedagogia anarquista consiste, ainda, no comportamento do professor diante dos alunos, de maneira que o assunto abordado não seja imposto por um agente que supostamente possui o papel de autoridade. Desse modo, o professor não deve favorecer a sua visão de uma determinada teoria, ou das teorias aceitas pela comunidade científica. Essa pedagogia, associada a um componente histórico, pode permitir que o aluno se sinta livre para escolher, por exemplo, qual considera a melhor imagem acerca da Ciência galileana. Colocando os prós e contras históricos, a escolha, embora possa parecer aleatória, será mais crítica, por consciência daquilo que é fornecido pela parte histórica. Assim, podemos observar que a simples mudança das palavras, durante a sala de aula, pode alterar todo o significado:

Não dizemos: *Algumas pessoas* acreditam que a Terra se move em torno do Sol, enquanto outros acham que a Terra é uma esfera oca que contém o Sol, os planetas e as estrelas fixas. Dizemos: a Terra *gira* ao redor do Sol – dizer qualquer outra coisa é absurdo (FEYERABEND, 2011a, p. 93).

Segundo Terra (2002), esse possível comportamento adotado pelo professor em sala de aula, a pedagogia anarquista, visa a autonomia do aluno em escolher a teoria que mais lhe faz sentido. Essa escolha, portanto, faz-se por convencimento, não no sentido sofista da palavra, no qual o convencimento surgia da rejeição de potencial verdade, tampouco do convencimento proporcionado pela parcialidade do professor diante de uma teoria, mas sim, do simples convencimento do que a própria teoria abordada pode proporcionar ao aluno. A intenção é, portanto, que o aluno perceba as diferentes concepções de maneira crítica e se convença mais

de uma em relação à outra, ou que não satisfeito com nenhuma das explicações proveniente das demais ideias, crie a sua própria.

A criação de novas ideias é fato na história de toda ciência, e a história é produzida no presente. Por exemplo, não se sentindo convencido pelos aspectos filosóficos do espaço absoluto proposto por Newton, ou da interação eletromagnética com meios intermediários (campos), ou da distorção do espaço proposto por Einstein etc., o físico brasileiro André Koch Torres Assis (1962-) partiu para a elaboração da Mecânica Relacional, teoria nova que se opõe à algumas ideias estabelecidas pela comunidade científica (ASSIS, 1999). A história está recheada por esse tipo de acontecimento, uma vez que se todos estivessem plenamente satisfeitos com o paradigma atual, é possível que não houvesse ninguém pensando em teorias alternativas, o que nos leva a uma Ciência sem mudanças, o que claramente não é o comportamento que a história nos conta.

Sobre a ideia do convencimento, Feyerabend (2011b) argumentou que a nossa sociedade só é heliocêntrica (copernicana) porque os próprios cientistas o são. Assim, aceitamos uma ideia sem uma análise crítica, da mesma maneira que aceitamos outros modelos, como a cosmologia de bispos e cardeais foi aceita no passado. Do resgate das ideias anteriores, podemos entender que o Ensino de Ciências que não é feito por convencimento, acontece por doutrinação, que “[...] o mais honrado intelectualmente será... que o professor exponha com toda clareza os dados do problema e as hipóteses que podem esclarecê-lo; fazer outra coisa qualquer será sempre uma imposição de doutrina” (MELLA, 1989, p.78 apud Terra, 2002, p. 211).

Foi possível observar que a pluralidade metodológica para o desenvolvimento da Ciência, segundo as ideias de Feyerabend, é coerente com os fatos históricos. Assim como Feyerabend não pretendia substituir um conjunto de regras por outro, não desejamos impor outra metodologia para o Ensino. Dessa maneira, o mais válido é transpor a ideia feyerabendiana para o Ensino, aceitando uma pluralidade metodológica:

O objetivo essencial que está por detrás da abordagem pluralista não é o de substituir um conjunto de regras por outro conjunto do mesmo tipo, mas argumentar no sentido de que todos os modelos e metodologias, inclusive as mais óbvias, têm vantagens e restrições (LABURÚ; ARRUDA; NARDI, 2003, p. 251)

Essa abordagem pluralista vem da ideia de que o processo de ensino e aprendizagem se dá por inúmeras variáveis, que são proporcionadas ao professor e pela maneira como cada aluno aprende ou se interessa por cada assunto, trabalhando com a capacidade individual de cada

indivíduo. Por isso, pontuamos que “[...] o estratagema pluralista parece ser o mais indicado para as relações de ensino e aprendizagem” (LABURÚ; ARRUDA; NARDI, 2003, p. 249).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo de todo o processo de produção deste trabalho, pudemos notar a enorme distância que há entre a real construção do pensamento humano em relação à Física e o que observamos nos livros didáticos. Percebemos como a primeira Lei de Newton é carregada de significados e concepções que dificilmente são abordados em sala de aula e, também, a tamanha complexidade do “simples” ato de apenas conceber a possibilidade de existência da conservação do movimento. Notamos, ainda, como uma pesquisa com perspectiva histórica e epistemológica pode fornecer a nós um novo mundo de informações e benefícios para a compreensão do conceito do princípio de inércia.

É pertinente acrescentar que quando defendemos o uso da História da Ciência no Ensino, não estamos tentando substituir todos os conteúdos da Física e nem todo um programa educacional por uma linha histórica. Entendemos, assim como Martins (2006), que a História da Física pode complementar o ensino comum da Ciência de inúmeras formas. Uma das contribuições é que “[...] o estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade” (MARTINS, 2006, p. 12). Corroborar-se, portanto, com a ideia da epistemologia anarquista defendida pela pesquisa de Terra (2002, p. 214), em que: “[...] raros [indivíduos] têm o privilégio de perceber que ciência é filosofia; a maioria não terá essa experiência encantadora e limitar-se-á a confundir ciência com tecnologia”.

Ainda que defendamos, quando conveniente, a abordagem histórica, é importante esclarecer que concordamos com Feyerabend quando o autor afirma que “[...] tampouco ficamos satisfeitos com uma mera apresentação *histórica* dos fatos e princípios físicos” (FEYERABEND, 2011a, p. 93).

Diante da pesquisa realizada, consideramos que ela está de acordo com a epistemologia anarquista, ou, anarquismo epistemológico, justamente por focar em episódios históricos, reforçando a ideia de que o progresso da Ciência não ocorre de maneira linear e não é produzida por meio de único método ou por algumas mentes brilhantes.

Para reforçar as críticas acerca da existência de uma única tradição ou método teórico para o progresso da Ciência, em seu livro intitulado *Adeus à Razão* (2010), Feyerabend discutiu o surgimento da racionalidade desde os tempos gregos ao mesmo tempo que defende uma visão mais relativista. Mostrou, ainda, exemplos modernos, como o positivismo de Einstein e o racionalismo de Mach. O que podemos transpor dessa sua obra para nosso trabalho é a ideia de que “[...] todas as opiniões, embora relativas e regionais, merecem consideração”

(FEYERABEND, 2010, p. 202) porque, de fato, “[...] a Ciência não contém um estilo de pesquisa, contém muitas” (FEYERABEND, 2020, p. 36037), assim como as várias concepções do movimento foram elaboradas de maneira diversificada, seja o *impetus* medieval, a *força inata da matéria* ou a *força motriz incorpórea*. Com isso, acreditamos ter atingido um dos objetivos gerais, a saber, contribuir para desconstrução de uma visão linear e racionalista da Ciência criada somente por alguns “gênios”.

Também acreditamos que foi possível atingir os outros objetivos, gerais e específicos. Quanto ao objetivo geral de realizar o resgate de alguns episódios históricos, acreditamos que abordamos personagens que fizeram parte da história do conceito de conservação do movimento, e em quantidade suficiente para uma pesquisa de Mestrado. Não devemos, porém, deixar de lado as dificuldades do processo de pesquisa. Em primeiro lugar, a somatória é bastante alta ao considerarmos o montante de livros como fonte primária e secundária na língua portuguesa ou inglesa, além dos artigos que foram lidos. Soma-se a isso o fato de que a maioria das leituras, de fonte primária e versões na língua inglesa, possui certa complexidade de compreensão. Naturalmente, muitas das obras foram lidas de duas a três vezes. Salvo, o livro do Aristóteles (*De Caelo*), lido quatro vezes.

Além disso, é necessário considerar que pesquisador veio de uma trajetória curricular, a graduação em Física, que não se exigia leituras frequentes. Assim como também é válido ressaltar que realizamos o resgate de apenas alguns personagens que tiveram envolvimento sobre o movimento, justamente pelas dificuldades encontradas e citadas acima, sobretudo, o tempo hábil. Alguns personagens tiveram contribuições mais pontuais, enquanto outros, mais complexas.

Como consequência desse resgate histórico e da etapa das concepções alternativas, surgiu, de certa forma, uma quantidade de subsídio histórico que julgamos suficiente para o professor que deseja iniciar uma abordagem alternativa ou como complemento, isto é, histórica/epistemológica. Assim, também houve, como consequência, algumas influências e críticas ao longo do processo de mudança do conceito de conservação.

Dessa forma, falta responder a problemática da pesquisa: *de que maneira o resgate de alguns episódios histórico-epistemológicos podem contribuir para uma compreensão mais ampla do conceito de inércia?*

Parcialmente, essa pergunta foi respondida anteriormente, quando falamos de uma desconstrução da visão linear e racionalista da Ciência, embora tenhamos discorrido de maneira mais geral. Entretanto, a argumentação também é válida para o caso específico do conceito de

inércia. Assim, é possível compreender a existência de várias formas de conceber a conservação pré-conceitual inercial. E mesmo que o indivíduo não compreenda completamente cada uma dessas formas de conservação, pela nossa lógica, fica evidente a complexidade que é o conceito.

Levando em consideração as ideias acima, também há o professor que não deseja aplicar uma abordagem histórica em sala de aula. Também há situações em que isso é inviável, pela questão de haver poucas horas por semana para completar uma imensa quantidade de conteúdo. Diante disso, foi realizado um pequeno recolhimento acerca das pesquisas relacionadas com a concepção alternativa, pontuando os obstáculos e direcionando possibilidades.

Assim, por mais que o professor seja inibido de alguma maneira a uma abordagem histórica, ter conhecimento da relação entre as concepções alternativas presentes nos alunos e do processo de mudança histórico do conceito, pode facilitar a abordagem do Princípio de inércia.

Resumidamente, este trabalho de pesquisa envolveu o resgate histórico e epistemológico dos assuntos que se relacionam com o princípio de inércia; uma discussão, trazida da filosofia e epistemologia, em relação ao indivíduo enquanto cientista; uma abordagem do saber e da produção científica e inúmeras variáveis envolvidas; a importância do diálogo e da reaproximação entre História e Ciência no Ensino de Física.

Acreditamos que há muitas possibilidades de continuação para o trabalho aqui redigido. Uma opção seria a elaboração e aplicação de sequências didáticas utilizando a História da Ciência. Não somente com o intuito de mostrar eficácia de uma abordagem mais ampla, mas de entender e melhorar **como aplicar** aulas com esse viés, levando em conta o atual cenário da educação brasileira.

Outra opção seria o trabalho histórico bibliográfico do princípio em outras nações. Ora, em todo o trabalho aqui realizado, tomamos as concepções dos pensadores europeus, contudo o que diriam os povos do Oriente médio ou da Ásia sobre o assunto? Talvez, esses dados já existam e foram recolhidos em outra língua, fazendo com que a investigação de cunho bibliográfico não seja necessária, porém pode ser interessante como outra sugestão de continuação, uma tradução de textos. Por exemplo, é possível que exista alguma informação pertinente na coleção de livros produzidos pelo historiador Pierre Duhem, chamado *Le système du Monde* (tradução livre: *O sistema do mundo*), no volume em que são apresentados os comentários de Averróis.

Diante de toda a problemática envolvida neste trabalho, o Quadro 1, apresentado a seguir, mostra de maneira resumida as concepções sobre o Princípio de inércia, o movimento e a presença de força como necessidade para a existência do movimento.

Quadro 1 – Quadro de resumo do princípio de inércia.

### QUADRO DE RESUMO AO PRINCÍPIO DE INÉRCIA

<b>Aristóteles de Estagira</b>	Enunciou o princípio, embora tenha negado sua existência. Exige um agente motor para o movimento violento. O movimento violento é explicado pela <i>antiperistasis</i> . Matematicamente: $v \propto \frac{F}{R}$
<b>João Filopono</b>	Nega a <i>antiperistasis</i> de Aristóteles. Propõe como alternativa a <i>força motriz incorpórea</i> . Essa força é necessária para a existência do movimento. O movimento tem aspecto não-inercial. Matematicamente: $v \propto F - R$
<b>Jean Buridan</b>	Alternativa a <i>antiperistasis</i> : <i>impetus imprimido</i> . Tentativa de unificação entre física celeste e terrestre. Força (ímpeto) é necessária para o movimento. Possibilidade de vácuo, embora o movimento ainda tenha aspecto não-inercial.
<b>Giordano Bruno</b>	Utiliza um conceito semelhante ao do ímpeto medieval. O movimento passa a ter aspecto inercial. Explicada por uma espécie de compartilhamento de movimento dado pelo exemplo do navio.
<b>Galileu Galilei</b>	Toma partido muito semelhante ao de Giordano Bruno, utilizando a explicação do porão do navio. Adota uma inércia para movimento de aspecto circular, que surge da reflexão de que toda reta na superfície terrestre é aparente, pois trata-se de uma circunferência.
<b>René Descartes</b>	Enuncia o princípio como leis da natureza e concebe uma justificativa unicamente teológica. Acrescenta ideias de referenciais e o termo <i>estado de movimento e estado de repouso</i> . Não exige força para o movimento.
<b>Isaac Newton</b>	Enuncia o princípio como sua primeira lei. Explicação de aspecto animista dado pela <i>força inata da matéria</i> . Não exige força <b>externa</b> para o movimento, ainda que exista a força inata da matéria. Acrescenta uma diferenciação entre movimento relativo e movimento absoluto, elaborando, assim, a ideia do <i>espaço absoluto</i> .

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 7 REFERÊNCIAS

- ARISTÓTELES. **Do Céu**. Trad. Edson Bini. São Paulo: Edipro, 2014.
- ARISTÓTELES. On the heavens. Trad. J. L. Stocks. In: HUTCHINS, R. M (Ed.). **Great Books of Western World**. Chicago: Encycloáedia Britannica, 1952a, v. 8, p. 359-405.
- ARISTÓTELES. Physics. Trad. R. P. Hardie; R. K. Gaye. In: HUTCHINS, R. M (Ed.). **Great Books of Western World**. Chicago: Encycloáedia Britannica, 1952b, v. 8, p. 259-355.
- ASSIS, André Koch Torres. **Uma nova física**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1999.
- BACHELARD, Gaston. **A Epistemologia**. Trad. Fátima Lourenço Godinho; Mário Carminho Oliveira. Lisboa, Portugal: Edições 70, 2006. (Coleção: O saber da Filosofia).
- BARRACO, Helda. Vida e Obra. In: GALILEI, Galileu. **O ensaiador**. Trad. Helda Barraco. São Paulo: Nova Cultural, 1996, p. 5-9. (Coleção Os Pensadores).
- BETTANIN, Andrea. **Física e astronomia aristotélica**. Instituto de Física da UFRGS, 10 abr. 2011. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/~dpavani/FIS02008/AULAS/2011\\_1\\_ciclo\\_1/aristoteles-Andrea.pdf](http://www.if.ufrgs.br/~dpavani/FIS02008/AULAS/2011_1_ciclo_1/aristoteles-Andrea.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- BINI, Edson. Dados Biográficos. In: ARISTÓTELES. **Do Céu**. São Paulo: Edipro, 2014, p. 13-19.
- BRUNO, GIORDANO. **A Ceia de Cinzas**. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2012.
- BRUSH, Stephen G. Should the History of Science Be Rated X?: The way scientists behave (according to historians) might not be a good model for students. **Science**, v. 183, n. 4130, p. 1164-1172, 1974.
- BUNGE, Mario Augusto. **Cápsulas**. Barcelona: Gedisa, 2003.
- CAROLINO, Luís Miguel. Resenha: A ceia de cinzas. **Revista Brasileira de História da Ciência**. Rio de Janeiro, v. 5, n. 2, p. 398-401, 2012.

CLEMENT, John. Student's preconceptions in introductory mechanics. **American Journal of Physics**, v. 50, n. 1, p. 66-71, 1982.

COTTINGHAM, John. O papel de Deus na filosofia de Descartes. In: BROUGHTON, Janet; CARRIERO, John. **Explorando Grandes Autores: Descartes**. Porto Alegre: Editora Penso, 2011, p. 283-295.

CRAIG, Robert. 07 Aristotle. **Slideshare**, Educação, 24 ago. 2017. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/RobertCraig2/07-aristotle>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

DAMASIO, Felipe; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. O pior inimigo da ciência: procurando esclarecer questões polêmicas da epistemologia de Paul Feyerabend na formação de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 1, p. 97-126, 2016.

DESCARTES, René. *Meditações Metafísicas*. **Coleção os pensadores**. Trad. J. Guinsburg; Bendo Prado Júnior. 3. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

DESCARTES, René. **Princípios da Filosofia**. Trad. Ana Cotrim e Heloisa da Graça Burati. 2. ed. São Paulo: RIDEEL, 2007.

DUHEM, Pierre. **Le Système du Monde. Histoire des Doctrines cosmologiques de Platon à Copernic**. Paris: Hermann, v. 8, p. 328-340, 1958.

ÉVORA, Fátima Regina Rodrigues. **A revolução copernicana-galileana**. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência/Unicamp, 1988.

ÉVORA, Fátima Regina Rodrigues. Filopono de Alexandria e a crítica ao conceito de matéria prima. **Cad. Hist. Fil. Ci.**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 55-76, jan.-jun., 2000.

ÉVORA, Fátima Regina Rodrigues. Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas. **Cad. Hist. Fil. Ci.**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 127-170, jan.-jun. 2005.

ÉVORA, Fátima Regina Rodrigues. Philoponos e Avempace: A Origem do Argumento Galileano sobre o Vazio. In: ÉVORA, Fátima Regina Rodrigues (Ed.). **Espaço e Tempo**. Campinas: Unicamp/CLE. Coleção CLE, v. 15, p. 69-89, 1995.

FEYERABEND, Paul Karl. **A Ciência em uma sociedade livre**. Trad. Vera Joscelyne. São Paulo: Editora Unesp, 2011a.

FEYERABEND, Paul Karl. **Adeus à razão**. Trad. Vera Joscelyne. São Paulo: Edunesp, 2010.

FEYERABEND, Paul Karl. **Contra o método**. Trad. Cezar Augusto Mortari. São Paulo: Edunesp, 2011b.

FEYERABEND, Paul Karl. Teóricos, Artistas e Artesãos. Trad. Marcos Cesar Danhoni Neves; Josie Agatha Parrilha da Silva. **International Journal of Development Research**. v. 10, p. 36033-36038, 2020.

FLORES, Paulo. Trajetória de um projétil segundo a teoria de Aristóteles. **ResearchGate**, s.d. jan. 2013. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Trajectoria-de-um-projetil-segundo-a-teoria-de-Aristoteles\\_fig3\\_298069128](https://www.researchgate.net/figure/Trajectoria-de-um-projetil-segundo-a-teoria-de-Aristoteles_fig3_298069128)>. Acesso em: 25 ago. 2020.

FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

FRANKLIN, Allan. Principle of inertia in the middle ages. **American Journal of Physics**, v. 44, n. 6, p. 529-545, 1976.

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

GALILEI, Galileu. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo**. São Paulo: Associação Filosófica *Scientiae Studia*/Editora 34, 2011.

GALILEI, Galileu. **O ensaiador**. Trad. Helda Barraco. São Paulo: Nova Cultural, 1996. (Coleção Os Pensadores).

GAUKROGER, Stephen. Vida e Obra. In: BROUGHTON, Janet; CARRIERO, John. **Explorando Grandes Autores: Descartes**. Porto Alegre: Editora Penso, 2011, p. 20-32.

GOLDENBERG, Mirian. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais**. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GOMES, Luciano Carvalhais. **Concepções Alternativas e Divulgação: Análise da Relação entre força e movimento em uma revista de popularização Científica**. 128 f. 2008. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

GRANADA, Miguel Angel. Introdução. In: BRUNO, Giordano. **A ceia de cinzas**. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2012, p. XI-CXL.

GRANT, Edward. **Physical Science in the Middle Ages**. New York: Jhon Wiley&Sons, 1971.

KOESTLER, Arthur; DENIS, Alberto. **Os sonâmbulos**: história das concepções do homem sobre o Universo. São Paulo: Instituição Brasileira de Difusão Cultural, 1961.

KOYRÉ, Alexandre. **Estudos de História do Pensamento Científico**. Rio de Janeiro: Forense, 2011.

KOYRÉ, Alexandre. **Newtonian studies**. Cambridge: Harvard University Press, 1965.

KRAUSZ, Luis Sérgio. **Baco**. Revista História Viva. São Paulo: Duetto Editorial, v.4, 2008. (Coleção Deuses da Mitologia).

KUHN, Thomas Samuel. **A estrutura das revoluções científicas**. 3. ed. São Paulo: Perspectiva, 2000.

KUHN, Thomas Samuel. **A Tensão Essencial**. Editora Unesp, 2011.

KUHN, Thomas Samuel. **O caminho desde a estrutura**. São Paulo: Unesp, 2006.

LABURÚ, Carlos Eduardo; ARRUDA, Sérgio de Mello; NARDI, Roberto. Pluralismo metodológico no ensino de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru., v. 9, n. 2, p. 247-260, 2003.

MARICONDA, Pablo Rubén. Introdução: o diálogo e a condenação. In: GALILEI, Galileu. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. Trad. de Pablo Ruben Mariconda. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia/Editora 34, 2011, p. 15-76.

MARTINS, Roberto de Andrade. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: SILVA, Cibele Celestino. Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino. **São Paulo: Editora Livraria da Física**, 2006a, p. 167-189.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Aristóteles e o estudo dos seres vivos**. São Paulo: Editora livraria da física, 2015.

MARTINS, Roberto de Andrade. Estado de Repouso e Estado de Movimento: Uma Evolução Conceitual de Descartes. In: PEDUZZI, Luiz; MARTINS, André Ferrer; FERREIRA, Juliana (Eds.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: Edufrn, 2012a, p. 291-308.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibele Celestino. Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. **São Paulo: Editora Livraria da Física**, 2006b, p. 17-30.

MARTINS, Roberto de Andrade. Um precursor medieval do princípio de inércia: a teoria do ímpeto de Jean Buridan. In: SILVA, Ana Paula Bispo; SILVEIRA, Alessandro Frederico da (Eds.). **História da ciência e ensino: fontes primárias**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018, p. 31-58. Vol. 2.

MARTINS, Roberto de Andrade. **O universo: teorias sobre sua origem e evolução**. São Paulo: Moderna, 2012b.

MATTHEWS, Michael S. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MCDERMOTT, Lillian Christie. Research on conceptual understanding in mechanics. **Physics Today**, v. 37, p. 24-32, 1984.

NARDI, Roberto; GATTI, Sandra Regina Teodoro. **Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências**. Ensaio, v. 6, n. 2, p. 145-166, 2005.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. **Do infinito, do mínimo e da inquisição em Giordano Bruno**. Ilhéus, BA: Editora Editus, 2004.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. **O Estagirita**. Revista UNIFAMA, v.1, p. 35-52, 2007.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni. Uma Investigação Sobre a Natureza do Movimento ou Sobre uma História para a Noção do Conceito de Força. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 4, p. 543, 2000.

NEWTON, Isaac. **Princípios Matemáticos de Filosofia Natural**. Livro I. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

NIETZSCHE, Friedrich Wilhelm. **A Filosofia na Época Trágica dos Gregos**. São Paulo: Escala, 2008.

OSTERMANN, Fernanda. A Epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 184-196, 1996.

PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. O movimento de projéteis e a solução mecânica de problemas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 1, n. 1, p. 8-13, 1984.

PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; PEDUZZI, Sônia Silveira. Força no movimento de projéteis. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 2, n. 3, p. 114-127, 1985b.

PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro; PEDUZZI, Sônia Silveira. O conceito de força no movimento e as duas primeiras leis de Newton. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 6-15, 1985a.

PLATÃO. **Timeu-Crítias**. Trad. Rodolfo Lopes. Coimbra: Centro de Estudos Clássicos e Humanísticos, 2011.

POPPER, Karl Raimund. **A lógica da pesquisa científica**. Editora Cultrix, 2013.

PORTO, Claudio Maia; PORTO, Maria Beatriz Dias da Silva Maia. Galileu, Descartes e a elaboração do princípio da inércia. História da Física e Ciências afins. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, p. 4601 - 4601-10, 2009.

ROCHA, José Fernando. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

RODRIGUES, Idely Garcia. **Aspectos epistemológicos da mecânica de Newton**: Novas formas de compreensão dos conceitos. 1888. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

RONAN, Colin A. **História ilustrada da ciência**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1987. V. 1.

SANTOS, Hugo Shigueo Tanaka dos. **Controvérsias entre a ação a distância e a ação por campos**: subsídios para o uso da história do eletromagnetismo em sala de aula. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

SEBASTIA, José Maria. Fuerza y movimiento: la interpretación de los estudiantes. **Enseñanza de las Ciencias**. v. 2, n. 3, p. 161-169, 1984.

SILVA, Josie Agatha Parrilha da; NEVES, Marcos Cesar Danhoni. **O Codex Cigoli-Galileo: ciência, arte e religião num enigma copernicano**. Maringá: Eduem, 2015.

SILVEIRA, Denise Tolfo; CÓRDOVA, Fernanda Peixoto. Porto Alegre: Editora da UFRGS, v. 1, p. 31-42, 2009.

SILVEIRA, Fernando Lang da. A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis. v. 13, n. 3, p. 197-218, 1996.

SILVEIRA, Fernando Lang da. A filosofia de Karl Popper e suas implicações no ensino da ciência. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 148-162, 1989.

SILVEIRA, Fernando Lang da; OSTERMANN, Fernanda. A insustentabilidade da proposta indutivista de "descobrir a lei a partir de resultados experimentais". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, p. 7-27, 2002.

SONG, Jinwoong; CHO, Sook-Kyoung; CHUNG, Byung-Hoon. Exploring the parallelism between change in student's conceptions and historical change in the concept of inertia. **Research in Science Education**, v. 27, n. 1, p. 87, 1997.

SOUZA, José Cavalcante de. **Os Pré-Socráticos: Fragmentos, Doxografia e Comentários**. 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1996. (Coleção: Os Pensadores).

TEORIA do *impetus*. **Física interessante**, s. d. Disponível em: <<http://www.fisica-interessante.com/aula-historia-e-epistemologia-da-ciencia-7-galileu-newton-fisica-1.html>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

TERRA, Paulo S. O ensino de ciências e o professor anarquista epistemológico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, p. 208-218, 2002.

TRINTIN, Renata da Silva. **Gaston Bachelard**. Estágio Docência na disciplina de Instrumentação em Ensino de Física I. Maringá: UEM/PCM, 2017.

VIENNOT, Laurence. Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205-221, 1979.

WESTFALL, Richard S. **A vida de Isaac Newton**. Nova Fronteira, 1995.

ZYLBERSZTAJN, Arden. Galileu – um cientista e várias versões. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 5, p. 36-48, 1988.

ZYLBERSZTAJN, Arden. Concepções espontâneas em física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Revista de Ensino de Física**, v. 5, n. 2, p. 3-16, 1983.

## 8 ANEXO I

1. “In one sense, then, we call ‘heaven’ the substance of the extreme circumference of the whole, or that natural body whose place is at the extreme circumference. We recognize habitually a special right to the name ‘heaven’ in extremity or upper region, which we take to be the seat of all that is divine. In another sense, we use this name for the body continuous with the extreme circumference which contains the moon, the sun, and some of the stars; these we say are ‘in the heaven’. In yet another sense we give the name to all body included within the extreme circumference, since we habitually call the whole or totality ‘the heaven’. The word, then, is used in three senses” (ARISTÓTELES, 1952, p. 369-370)
2. “[...] So it follows necessarily from what has been said above that there are only three kinds of change, that from subject to subject, that from subject to non-subject, that from non-subject to subject: for the fourth conceivable kind, that from non-subject to non-subject, is not change, as in that case there is no opposition either of contraries or of contradictories” (ARISTÓTELES, 1952, p. 305).
3. “[...] So it is clear that in all these cases the thing does not move itself, but it contains within itself the source of motion – not of moving something or of causing motion, but of suffering it. If then the motion of all things that are in motion is either natural or unnatural and violent, and all things whose motion is violent and unnatural are moved by something, and again all things whose motion is natural are moved by somethings – both those that are moved by themselves and those that are not moved by themselves (e.g. light things and heavy things, which are moved either by that which released what was hindering and preventing it); then all things that are in motion must be moved by something” (ARISTÓTELES, 1952, p. 340).
4. “[...] If, then, A the movent have moved B a distance  $\Gamma$  in a time  $\Delta$ , then in the same time the same force A will move  $\frac{1}{2}$ B twice the distance  $\Gamma$ , and in  $\frac{1}{2}\Delta$  it will move  $\frac{1}{2}$ B the whole distance  $\Gamma$ : for thus the rules of proportion will be observed. Again if a given force move a given weight a certain distance in a certain time and half the distance in half time, half the motive power will move half the weight the same distance in the same time. Let E represent half the motive power A and Z half the weight B: then the ratio between the motive power and the weight in the one case is similar and proportionate to the ratio in the other, so that each force will cause the same distance to be traversed in the same time” (ARISTÓTELES, 1952, p. 333).
5. “[...] We see the same weight or body moving faster than another for two reasons, either because there is a difference in what it moves through, as between water, air, and earth, or because, other things being equal, the moving body differs from the other owing

excess of weight or lightness. [...] For let B be water and  $\Delta$  air; then by so much as air is thinner and more incorporeal than water, A will move through  $\Delta$  faster than through B. [...] And always, by so much as the medium is more incorporeal and less resistant and more easily divided, the faster will be the movement” (ARISTÓTELES, 1952, p. 295)

6. “[...] But in a void none of these things can take place, nor can anything be moved save as that which is carried is moved. Further, no one could say why a thing once set in motion should stop anywhere; for why should it stop *here* rather than *here*? So that a thing will either be at rest or must be moved *ad infinitum*, unless something more powerful get in its way. Further, things are now thought to move into the void because it yields; but in a void this quality is present equally everywhere, so that things should move in all directions (ARISTÓTELES, 1952, p. 294-295).

## 9 ANEXO II

Figura 23 – Questão de lançamento vertical, em Anexo, proposta por Sebastia.

1. Un niño lanza verticalmente hacia arriba una pequeña pelota. La pelota pasa al subir por el punto A, llega al punto B donde se detiene, y luego baja pasando por el punto C. Se considera despreciable la resistencia del aire.

Las flechas de los dibujos se supone que muestran las fuerzas sobre la pelota. Elige una de las alternativas y explica brevemente los motivos de tu elección.

1.A En el punto A, cuando la pelota está subiendo ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?

Explica \_\_\_\_\_

1.B En el punto B, cuando la pelota se detiene momentáneamente (velocidad cero) ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?

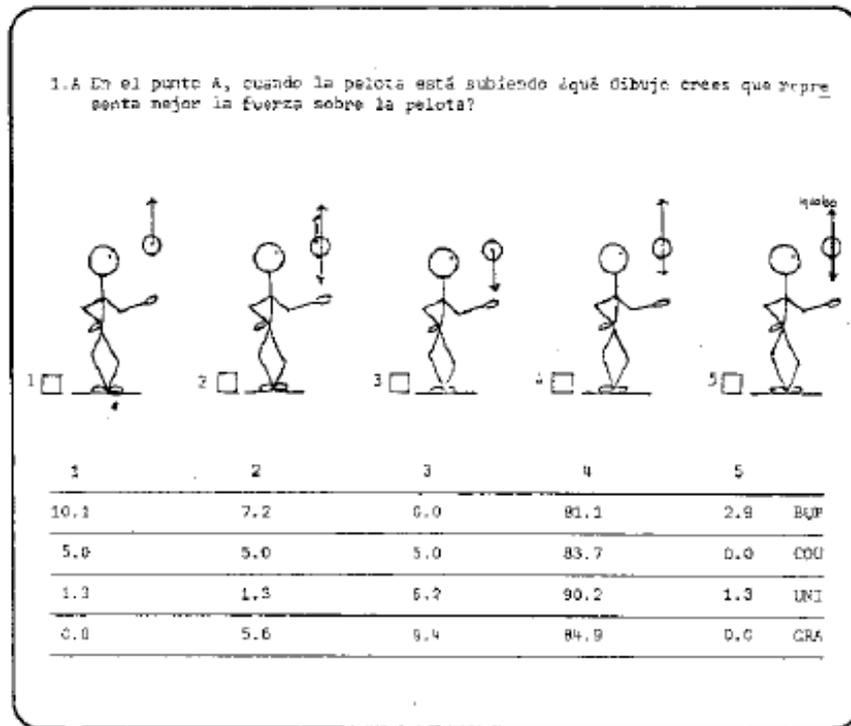
Explica \_\_\_\_\_

1.C En el punto C, cuando la pelota está bajando, ¿qué dibujo crees que representa mejor la fuerza sobre la pelota?

Explica \_\_\_\_\_

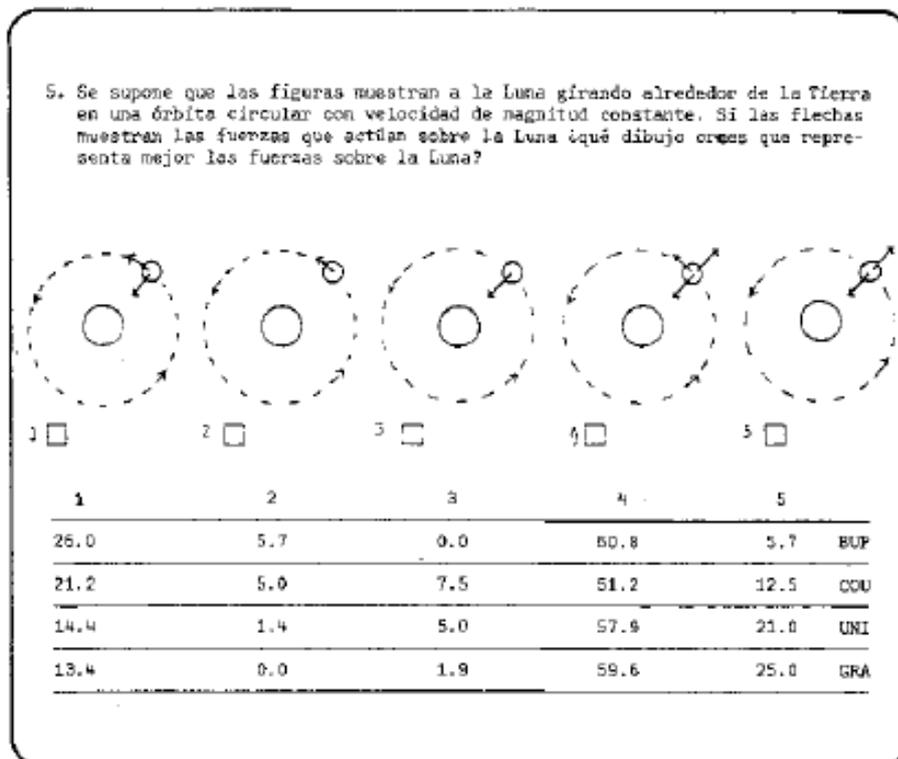
Fonte: Sebastia (1984, p. 167).

Figura 24 – Resposta da questão de lançamento vertical, em Anexo, proposta por Sebastia.



Fonte: Sebastia (1984, p. 168).

Figura 25 – Questão, movimento circular, em Anexo, proposta por Sebastia.



Fonte: Sebastia (1984, p. 168).

Figura 26 – Resposta da questão acerca do movimento circular, em Anexo, proposta por Sebastia.

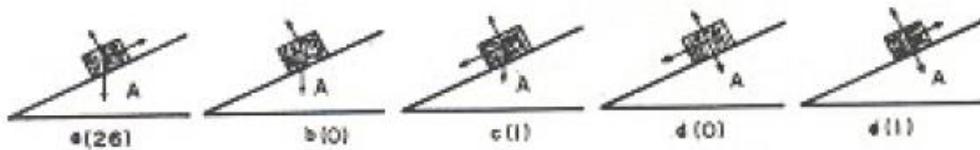
6. La figura muestra a un niño que hace girar, en un plano vertical, a una piedra atada al extremo de un hilo. Se supone que las flechas muestran las fuerzas sobre la piedra ¿cuál de los dibujos crees que representa mejor las fuerzas sobre la piedra?

1	2	3	4	5	
5.7	0.0	72.4	17.3	4.3	BUP
5.0	6.2	55.0	30.0	1.2	COU
6.6	5.9	53.3	27.4	6.6	UNI
12.2	0.0	61.2	22.4	4.0	GRA

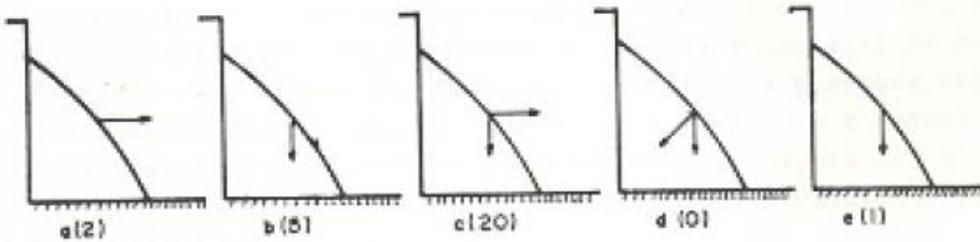
Fonte: Sebastia (1984, p. 169).

Figura 27 – Questões 2 e 3 acerca da força, em Anexo, proposta por Peduzzi e Peduzzi.

2. Um bloco é jogado de baixo para cima ao longo de um plano inclinado liso. Marque a opção que melhor representa a(s) força(s) que age(m) sobre ele, ao passar pelo ponto A, ainda subindo. Despreze o atrito.



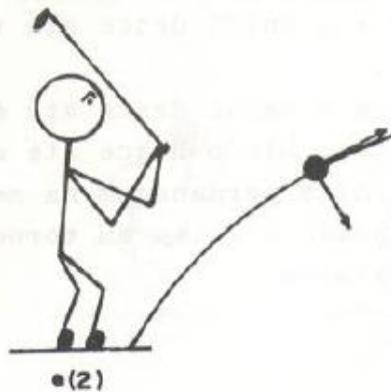
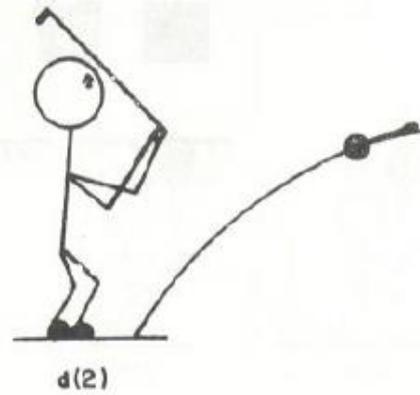
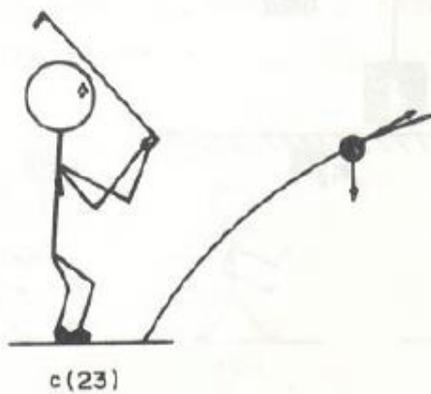
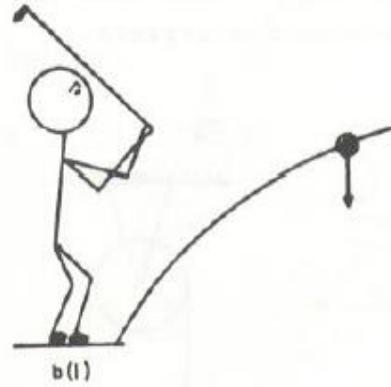
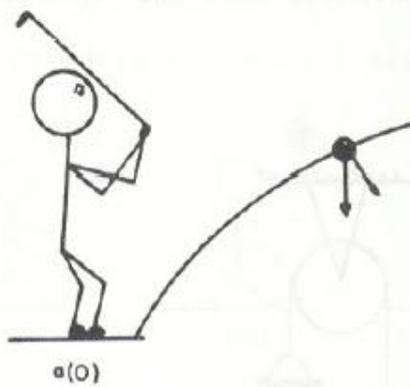
3. Uma pedra é lançada horizontalmente da janela de um edifício. Desprezando a resistência do ar, indique a figura que representa a(s) força(s) que age(m) sobre a pedra.



Fonte: Peduzzi; Peduzzi (1985a, p. 12).

Figura 28 – Questão 4 acerca da força, em Anexo, proposta por Peduzzi e Peduzzi.

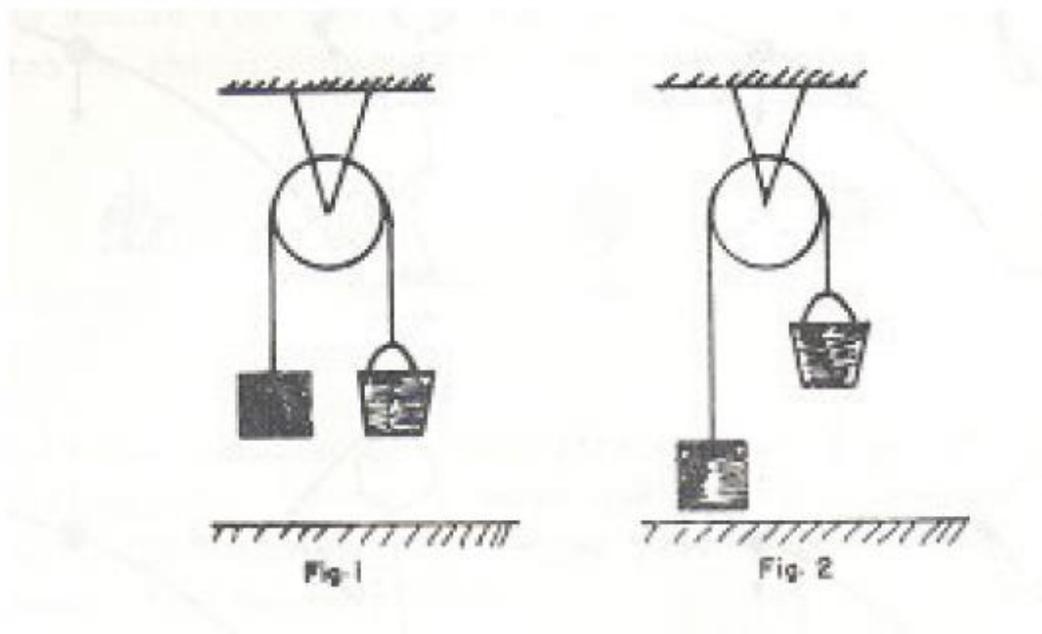
4. Assinale qual dos quadros abaixo representa a(s) força(s) que age(m) sobre a bolinha arremessada pelo golfista. Despreze a resistência do ar.



Fonte: Peduzzi; Peduzzi (1985a, p. 13).

Figura 29 – Questão 5 acerca da força, em Anexo, proposta por Peduzzi e Peduzzi.

5. Um bloco de madeira e um balde com areia pendem livremente de uma polia estando ambos a uma mesma altura do solo (*fig. 1*). O bloco é então puxado para baixo e mantido na posição mostrada na *fig. 2*. Soltando-se o bloco, assinale qual das afirmativas abaixo é a correta.



- a) (2) O bloco sobe e o balde desce até voltarem à posição descrita na *fig. 1*.  
b) (3) O bloco sobe e o balde desce até o balde tocar o solo.  
c) (2) O balde sobe e o bloco desce até o bloco tocar o solo.  
d) (7) O bloco e o balde permanecem na mesma posição.  
e) (13) O bloco e o balde oscilam em torno da posição mostrada na *fig. 1* até pararem.

Fonte: Peduzzi; Peduzzi (1985a, p. 14).

Figura 30 – Questão 1, no original, aplicada por Song, Cho e Chung.

Which is (are) the natural motion(s) in which no external force is applied? Select all. ( )

1. the motion of stars moving around the earth one time per day
2. the downward falling motion caused by releasing an object from a high place
3. the straight line motion of a ball with the same velocity after rolling down an inclined plane
4. the motion of an object which is at rest

*Figure 1. Question 1 (Natural Motion).*

Fonte: Song; Cho; Chung (1997, p. 90)

Figura 31 – Imagem da tabela de respostas da questão 1 aplicada por Song, Cho e Chung.

Table 2  
*Students' Responses to Question 1*

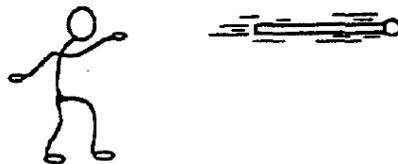
Age	Students' responses (%)					
	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 1 & 2	Option 3 & 4
11	61.0	59.8	53.7	51.8	7.6	3.2
13	62.3	47.1	41.8	66.1	8.9	7.9
15	62.9	34.6	47.8	50.2	11.2	9.7
17	50.6	18.8	56.8	50.6	6.6	19.2
Mean	59.4	39.3	49.7	54.7	8.7	10.2

The percentages in the table are calculated to the exclusion of the number of no responses - two for age 13, two for age 15, and eleven for age 17 group.

Fonte: Song; Cho; Chung (1997, p. 90)

Figura 32 – Questão 2, no original, aplicada por Song, Cho e Chung.

As shown in the drawing, a spear is flying forwards when some body throws it.



Explain how this spear can fly forwards even after leaving the man's hand.

.....

.....

*Figure 2. Question 2 (The Motion of a Flying Spear).*

Fonte: Song; Cho; Chung (1997, p. 91)

Figura 33 – Imagem da tabela de resposta da questão 2, no original, de Song, Cho e Chung.

**Table 3**  
*Students' Responses to Question 2*

Response	Percent response				Mean
	Age 11	Age 13	Age 15	Age 17	
<i>Description without giving explanations</i>					
(1) The spear will fly	4.7	0.5	0.5	0	1.3
(2) The spear will fall	2.3	0.5	0	0	0.6
(3) The spear will gradually fall while it flies	4.1	1.4	0.5	0	1.4
(4) The spear will fly horizontally but it will fall later	2.9	7.7	6.1	2.6	5.0
(5) Others	1.7	4.8	0.5	2.6	2.4
Subtotal					10.7
<i>Explanation in terms of the Earth's gravitation</i>					
(6) The spear will fall due to gravitation	0	3.3	0.9	2.1	1.6
(7) The spear will fly first but fall later due to gravitation	1.2	3.8	1.9	1.5	2.1
(8) The spear will fly due to gravitation	0.6	2.9	0	1.5	1.2
(9) Others	0	1.9	0	1.0	0.7
Subtotal					5.6
<i>Explanation in terms of the effects of air or wind</i>					
(10) The spear will fall due to air resistance	0.6	1.4	0	0.5	0.6
(11) The spear will fly first but fall later due to air resistance	2.3	0.5	1.4	0.5	1.1
(12) The spear will fly due to air influence	22.1	8.1	4.2	3.1	8.8
(13) Others	0.6	0.5	0.5	0	0.4
Subtotal					10.9
<i>Explanation in terms of something given to the spear by the man</i>					
(14) The spear will fly due to the force given to it	40.1	46.9	51.4	50.0	47.5
(15) The spear will fly due to the energy given to it	0	1.0	3.7	2.1	1.8
(16) The spear will fall when the thing given to it has disappeared	5.8	5.7	4.2	4.6	5.0
(17) The spear will fly first due to something given by the man but fall late to Earth's gravitation or air resistance	0	1.4	4.2	3.6	2.4
(18) Others	0	1.0	0.9	1.5	0.9
Subtotal					57.6
<i>Explanation in terms of the idea of inertia</i>					
(19) The spear will fly due to inertia	0.6	1.4	1.9	8.2	3.0
(20) The spear will fly due to its force to go forward	0	0.5	0.5	0	0.3
(21) Others	1.2	1.0	2.8	4.1	2.3
Subtotal					5.6
<i>Others</i>	5.8	2.9	7.9	2.6	4.8
<i>No Response</i>	3.5	1.0	6.1	7.7	4.6
<b>Total percent (rounding errors evident)</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>99.8</b>

Fonte: Song; Cho; Chung (1997, p. 92)

Figura 34 – Imagem da tabela da primeira parte das respostas da questão 3, no original, de Song, Cho e Chung.

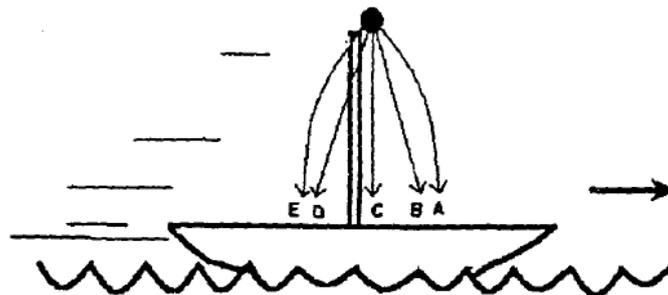
**Table 4**  
*Students' Responses to the First Part of Question 3*

Age	Students' responses (%)						
	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 5	Option 6	No response
11	16.9	14.4	33.8	8.8	19.4	1.3	5.6
13	20.7	8.1	27.8	18.2	21.2	2.0	2.0
15	9.1	5.0	47.7	16.4	18.6	0.9	2.3
17	7.3	1.0	22.8	32.5	31.6	3.4	1.5
Mean	13.3	6.8	33.4	19.2	22.7	1.9	2.7

Fonte: Song; Cho; Chung (1997, p. 94)

Figura 35 – Questão 3, no original, proposta por Song, Cho e Chung.

Somebody released a stone from a mast of a sailing ship moving on the sea.



(1) Which path will the stone follow while it is falling? ( )  
(Neglect the resistance by the air in this problem)

1. A (the stone will fall in front of the mast by following the curved path)
2. B (the stone will fall in front of the mast by following the straight line path)
3. C (the stone will fall to the base of the mast)
4. D (the stone will fall behind the mast by following the curved path)
5. E (the stone will fall behind the mast by following the straight line path)
6. Others .....

(2) Why do you think so?

.....  
.....

*Figure 3. Question 3 (The falling motion of a stone on a moving ship).*

Fonte: Song; Cho; Chung (1997, p. 95)

Figura 36 – Imagem da segunda parte das respostas da questão 3, no original, de Song, Cho e Chung.

Table 5  
Students' Responses to the Second Part of Question 3

Response	Percent response				Mean
	Age 11	Age 13	Age 15	Age 17	
<i>The stone will fall in front of the mast by following a curved path</i>					
(1) Because wind or air affects the stone's motion	3.1	5.1	2.3	0	2.6
(2) Because Earth's gravitation attracts the stone	1.3	2.5	0.9	0.5	1.3
(3) Because the stone will continue its state of motion	0	1.5	0.5	1.9	1.0
(4) Because the ship is moving	1.3	5.6	2.3	2.4	3.0
(5) Because there is no air resistance	0	0.5	0.5	0.5	0.4
(6) Because the ship is moving and affected by wind or air	0	1.5	0	0	0.4
(7) Because the ship is moving and attracted by Earth's gravitation	0	0	0.5	1.0	0.4
(8) Just describing the motion without giving any reason	1.3	0.5	0	0	0.4
(9) Others	7.5	2.5	1.4	1.0	2.9
(10) No response	2.5	1.0	0.9	0	1.0
<i>The stone will fall in front of the mast by following a straight line path</i>					
(11) Because wind or air affects the stone's motion	1.9	2.0	0.9	0	1.2
(12) Because Earth's gravitation attracts the stone	0	2.0	0	0	0.5
(13) Because the stone will continue its state of motion	0.6	0	0.5	1.0	0.5
(14) Because the ship is moving	1.9	1.0	0.5	1.0	0.9
(15) Because I know it from my experiences or experiments	3.8	0.5	0	0	1.1
(16) Because there is no air resistance	0.6	0.5	0.5	0	0.4
(17) Just describing the motion without giving any reason	1.3	1.0	0.5	0	0.7
(18) Others	3.1	1.0	1.4	0	1.3
(19) No responses	1.3	0	0.9	0	0.5
<i>The stone will fall to the base of the mast</i>					
(20) Because wind or air affects the stone's motion	1.9	0.5	2.3	0	1.2
(21) Because Earth's gravitation attracts the stone	8.1	5.6	11.4	3.9	7.3
(22) Because the stone will continue its state of motion	0	4.0	12.7	6.8	6.3
(23) Because I know it from my experiences or experiments	1.9	2.0	2.7	2.4	2.3
(24) Because there is no air resistance	6.9	6.6	4.1	2.4	4.9
(25) Because it is a natural motion	8.8	4.0	5.9	0.5	4.7
(26) Just describing the motion without giving any reason	1.9	0	0.5	0	0.5
(27) Others	3.8	3.0	6.4	3.9	4.4
(28) No responses	0.6	2.0	1.8	2.9	1.9
<i>The stone will fall behind the mast by following a curved path</i>					
(29) Because wind or air affects the stone's motion	1.3	3.5	0.5	2.9	2.0
(30) Because the ship is moving forward	3.8	10.1	10.5	21.4	11.7
(31) Because the stone will continue its state of motion	0.6	1.0	0	3.4	1.2
(32) Just describing the motion without giving any reason	0	0.5	0.5	0	0.3
(33) Others	2.5	3.0	4.1	3.4	3.3
(34) No responses	0.6	0	0.9	1.5	0.8
<i>The stone will fall behind the mast by following a straight line path</i>					
(35) Because wind or air affects the stone's motion	7.5	5.6	4.1	5.8	5.6
(36) Because the ship is moving forward	8.8	8.1	8.2	15.5	10.1
(37) Because the stone will continue its state of motion	0	0.5	1.4	4.9	1.7
(38) Because I know it from my experiences or experiments	0.6	2.0	0.9	5.3	2.2
(39) Just describing the motion without giving any reason	1.9	0	1.4	0	0.8
(40) Others	1.3	4.0	1.8	5.3	3.1
(41) No responses	0	1.0	0.9	0	0.5
Others	1.3	2.0	0.9	3.4	1.9
No response	5.6	2.0	2.3	1.5	2.7
Total percent (rounding errors evident)	101.2	99.7	100.7	106.4	101.9